



UFRJ

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

ESCOLA DE BELAS ARTES

DEPARTAMENTO DE ARTES E PRESERVAÇÃO

CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO

DIANA BULCÃO DUARTE SIMÕES

DESAFIOS DA CONSERVAÇÃO DE OBJETOS CULTURAIS PLÁSTICOS

EM MUSEUS

RIO DE JANEIRO

2021

DIANA BULCÃO DUARTE SIMÕES

**DESAFIOS DA CONSERVAÇÃO DE OBJETOS CULTURAIS PLÁSTICOS
EM MUSEUS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Belas Artes da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de bacharel em Conservação e Restauração.

Orientadora: Profa. Ms. Milena Barbosa Barreto

Coorientadora: Profa. Dra. Neuvânia Curty Ghetti

Rio de Janeiro

2021

CIP - Catalogação na Publicação

SS237d Simões, Diana Bulcão Duarte
Desafios da conservação de objetos culturais
plásticos em museus / Diana Bulcão Duarte Simões. -
Rio de Janeiro, 2021.
144 f.

Orientadora: Milena Barbosa Barreto.
Coorientadora: Neuvânia Curty Ghetti.
Trabalho de conclusão de curso (graduação) -
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de
Belas Artes, Bacharel em Conservação e Restauração,
2021.

1. Plásticos. 2. Polímeros. 3. Conservação. 4.
Acervos museológicos. I. Barreto, Milena Barbosa,
orient. II. Ghetti, Neuvânia Curty, coorient. III.
Titulo.

DESAFIOS DA CONSERVAÇÃO DE OBJETOS CULTURAIS PLÁSTICOS

EM MUSEUS

DIANA BULCÃO DUARTE SIMÕES

Orientadora: Profa. Ms. Milena Barbosa Barreto

Coorientadora: Profa. Dra. Neuvânia Curty Ghetti

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Belas Artes da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Bacharel em Conservação e Restauração.

Aprovada por:

Profa. Ms. Milena Barbosa Barreto - EBA/UFRJ (Presidente)

Profa. Dra. Neuvânia Curty Guetti - EBA/UFRJ (Co-orientadora)

Prof. Dra. Ana Paula Correa de Carvalho - EBA/UFRJ

Profa. Dra. Priscila Tamiasso Martinhon - IQ/UFRJ

AGRADECIMENTOS

Agradeço às minhas orientadoras Milena Barreto e Neuvânia Curty, por me auxiliarem a me encontrar, me apaixonar por este tema e por toda ajuda e colaboração na execução deste trabalho.

Aos meus pais, Cecilia e Leandro, por toda paciência, amor e carinho durante meu processo de pesquisa e escrita.

À professora Geisa Alchorne, por todo carinho e suporte que me ofereceu.

Aos meus amigos Julia, Matheus, Jéssica e Leonardo, por me inspirarem com suas pesquisas e por me apoiarem com a minha, e, junto deles, a todos do CDK, que tornaram a realização desse trabalho muito mais leve com suas amizades, amor e companherismo.

A Cátia Louredo, pelo auxílio com materiais e informações sobre a artista Márcia X.

A todos os professores da graduação de Conservação e Restauração por, cada um a sua forma, me inspirarem a seguir no campo da pesquisa.

RESUMO

Este trabalho investiga os desafios existentes em relação à conservação de materiais plásticos (poliméricos) em âmbito museológico, na forma de objetos e obras de arte presentes em acervos e coleções. Por serem materiais relativamente recentes – em comparação com materiais tradicionais, há séculos utilizados (como madeira, metais e pedras) –, ainda não há tanto conhecimento aprofundado a respeito de seus mecanismos de deterioração e formas adequadas de conservação. Em primeiro momento, é apresentado um panorama sobre sua produção, história, propriedades químicas e processamento industrial. Em seguida é traçada uma linha do tempo da história da arte em relação ao uso de plásticos por artistas desde o começo do século XX, além da caracterização de algumas coleções museológicas com plástico. Então, é apresentada a metodologia utilizada na pesquisa, que contou com um levantamento de acervos de museus brasileiros com plástico, pesquisas em cima de dissertações de mestrado que também abordaram acervos com coleções plásticas no Brasil, e um levantamento de referências bibliográficas a partir de bancos digitais de publicações científicas, publicações, periódicos de instituições museológicas e livros na área de química e conservação de plástico. Por fim, são apresentados os resultados e discussões, que apontaram grande presença de plásticos em acervos museológicos, a falta de conhecimento por seus responsáveis, e os desafios da conservação deste material, partindo das análises de agentes de deterioração, como umidade relativa, radiação, presença de oxigênio, e de formas adequadas de conservação em museus, sendo a identificação de plásticos um dos pontos mais importantes.

Palavras-chave: plásticos, polímeros, conservação, acervos museológicos.

ABSTRACT

This research investigates the existing challenges in relation to the conservation of plastic (polymeric) materials in the museological scope, in the form of objects and works of art present in collection. As they are relatively recent materials – compared to traditional materials that have been used for centuries (such as wood, metals and stones) –, there is still not so much in-depth knowledge about their deterioration mechanisms and adequate forms of conservation. Firstly, an overview of its production, history, chemical properties and industrial processing is presented. Then, a timeline of the history of art in relation to the use of plastics by artists since the beginning of the 20th century is drawn, in addition to the characterization of some museum collections with plastic. Then, the methodology used in the research is presented, which included a survey of collections of Brazilian museums with plastic, researches on master's dissertations that also addressed the presence of plastic in museums collections in Brazil, and a survey of bibliographic references from science articles banks, publications and periodicals of museological institutions and books in the field of chemistry and plastic conservation. Finally, the results and discussions are presented, which pointed out the great presence of plastics in museum collections, the lack of knowledge by those responsible for it, and the challenges of conservation of this material, starting from the analysis of agents of deterioration, such as relative humidity, radiation, presence of oxygen, and appropriate forms of conservation in museums, with the identification of plastics being one of the most important points.

Key-words: plastics, polymers, conservation, museums collections.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Concentração de produção de plástico no mundo.....	27
Figura 2: Estrutura da borracha vulcanizada.....	35
Figura 3: Estrutura do nitrato de celulose.....	35
Figura 4: Estrutura do acetato de celulose.....	37
Figura 5: Estrutura do fenol-formaldeído.....	38
Figura 6: Estrutura do policloreto de vinila (PVC).....	40
Figura 7: Estrutura do poliestireno.....	40
Figura 8: Estrutura do polietileno.....	41
Figura 9: Estrutura do polimetilmetacrilato.....	41
Figura 10: Estrutura do poliuretano.....	42
Figura 11: Estrutura do politetrafluretileno.....	43
Figura 12: Estrutura do polipropileno.....	43
Figura 13: Estrutura do policarbonato.....	44
Figura 14: Polimerização do polipropileno.....	46
Figura 15: Polimerização do politereftalato de etileno.....	47
Figura 16: Exemplos de organização dos monômeros em copolímeros.....	48

Figura 17: Representação de estruturas poliméricas amorfas e semi-cristalinas.....	49
Figura 18: Modelo de cadeia linear.....	49
Figura 19: Modelo de cadeia ramificada.....	50
Figura 20: Modelo de cadeia com ligação cruzada.....	51
Figura 21: Esquemas de moldagem de plástico.....	56
Figura 22: À esquerda: Model for “Construction in Space ‘Two Cones’”, 1927, celulóide. Naum Gabo À direita: Head, circa 1923-24, celulóide. Antoine Pevsner.....	60
Figura 23: K VII, 1922, óleo e grafite sobre tela. Laszlo Moholy-Nagy.....	61
Figura 24: Study with pins and ribbons (vivex process), 1938, alfinetes e filme de celulóide pigmentada, Laszlo Moholy-Nagy.....	62
Figura 25: Self-Portrait, 1966, tinta de serigrafia sobre tinta de polímero sintético sobre tela, Andy Warhol.....	63
Figura 26: À esquerda: Giant BLT (Bacon, Lettuce and Tomato Sandwich), 1966, vinil, fibra de kapok e madeira pintada com tinta acrílica, Claes Oldenburg À direita: Soft Pay-Telephone, 1963, vinil preenchido com fibra de kapok, montado em painel de madeira pintada, Claes Oldenburg.....	64
Figura 27: Christo na execução de “Wrapped Coast”, em Little Bay, Sidney, Austrália, 1969.....	65
Figura 28:Expansion nº 14, 1970, espuma de poliuretano, César Baldaccini.....	66

Figura 29: Eu quero você, 1966, plástico estofado de algodão e acrílica sobre PVC, Marcello Nitsche.....	67
Figura 30: Parangolé P1, Capa 1, 1964, tecido e plástico, Hélio Oiticica.....	68
Figura 31: B33 Bólido Caixa 18 “Homenagem a Cara de Cavallo”, 1965-66, madeira, fotografia, náilon, acrílico, plástico e pigmento.....	69
Figura 32: Rosso plastica M 2, 1962, plástico (PVC e PE) e combustão sobre tecido preto, Alberto Burri.....	70
Figura 33: Páginas 560-561 do catálogo da 8ª edição da Bienal de São Paulo, de 1965, contendo destaque para a obra traduzida como “Grande Vermelho P R”, de 1964, à direita.....	71
Figura 34: À esquerda, instalação Os Kaminhas Sutrinhas, 1995, Márcia X. À direita: detalhe da instalação Os Kaminhas Sutrinhas.....	72
Figura 35: À esquerda: Sem título, série Fábrica Fallus, 1992-2004, Márcia X À direita: Sem título, série Fábrica Fallus, 1992-2004, Márcia X.....	73
Figura 36: Shrink, 1995, Lawrence Malstaf.....	74
Figura 37: Relação de comprimento de onda e carga energética dos tipos de radiação.....	97
Figura 38: Descoloração desigual em uma tampa de leite dinamarquesa da década de 1960 devido à exposição prolongada à luz do sol.....	98
Figura 39: Início do mecanismo de foto-oxidação no polietileno.....	99

Figura 40: Disco de vinil (PVC) antes (esquerda) e depois (direita) de degradação sofrida após aquecimento à 50°C por 30 minutos.....	101
Figura 41: Oxidação na borracha natural, causando desintegração da estrutura polimérica.....	103
Figura 42: Escova de unha de poliestireno separada de sua base pelo dano mecânico consequente de uma queda.....	105
Figura 43: À esquerda: Futuro, 1965, Matti Suuronen. À direita: Detalhe de Futuro, apresentando infestação biológica.....	106
Figura 44: Boneco de PVC apresentando escurecimento (<i>darkening</i>) e superfície pegajosa (<i>sticky surface</i>) como consequência da migração de plastificante.....	110
Figura 45: Símbolos universais de identificação de plásticos recicláveis.....	117
Figura 46: Efeitos do PVC plastificado artificialmente envelhecido, acondicionado com PET, PEBD e seda natural, ao longo de 17 meses.....	126

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Países que mais produzem lixo plástico anualmente, em toneladas.....33

Quadro 2: Temperaturas de Fusão e Transição Vítrea aproximadas de polímeros.....53

Quadro 3: Relação de museus selecionados para realização de pesquisa.....80

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Crescimento da produção mundial de plástico entre 1950-2014, em milhões de toneladas.....	26
Gráfico 2: Produção de transformados plásticos no Brasil em milhões de toneladas.....	29
Gráfico 3: Empresas na indústria de transformados plásticos no Brasil.....	30
Gráfico 4: Empregos na indústria de transformados plásticos no Brasil, em mil empregos.....	30
Gráfico 5: Compilação do resultado de artigos com os termos “plastics or polymer and museum” (plásticos ou polímeros e museus). de 2010 a 2021, na plataforma ScienceDirect (http://sciencedirect.com).....	91

LISTA DE ABREVIações

ABIPLAST	Associação Brasileira da Indústria do Plástico
AC	Acetato de celulose
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
GCI	Getty Conservation Institute
ICI	Instituto Cultural Inhotim
MAC Feira	Museu de Arte Contemporânea Raimundo de Oliveira
MAC Paraná	Museu de Arte Contemporânea do Paraná
MAC-RS	Museu de Arte Contemporânea do Rio Grande do Sul
MAC USP	Museu de Arte Contemporânea da Universidade de São Paulo
MAM Resende	Museu de Arte Moderna de Resende
MAM-Rio	Museu de Arte Moderna do Rio de Janeiro
MAM-SP	Museu de Arte Moderna de São Paulo
MAMAM	Museu de Arte Moderna Aloísio Magalhães
MARGS	Museu de Arte do Rio Grande do Sul
MASP	Museu de Arte de São Paulo Assis Chateaubriand
MJC	Museu Júlio de Castilhos
NAC-UFPB	Núcleo de Arte Contemporânea da Universidade Federal da Paraíba
NC	Nitrato de celulose
PC	Policarbonato
PE	Polietileno

PEBD	Polietileno de baixa densidade
PET	Politereftalato de etileno
PMMA	Polimetilmetacrilato
POPART	Preservation of Plastics Artifacts in Museum Collections
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PTFE	Politetrafluoretileno
PU	Poliuretano
PVC	Policloreto de vinila
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UV	Ultravioleta
WWF	World Wide Fund for Nature

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	18
CAPÍTULO 1 – PLÁSTICOS	24
1 – PLÁSTICOS	25
1.1 – Panorama	25
1.1.1 – Mundo	26
1.1.2 – Brasil	28
1.1.3 – Impactos ambientais: Poluição	31
1.2 – História dos plásticos	34
1.2.1 – Plásticos semisintéticos	35
1.2.2 – Plásticos sintéticos	37
1.3 – Propriedades Químicas	44
1.3.1 – Processos de formação dos polímeros: polimerização	45
1.3.2 – Homopolímeros e copolímeros	47
1.3.3 – Estrutura e tipos de cadeia polimérica	48
1.3.4 – Comportamento mecânico e fusibilidade de polímeros	51
1.3.5 – Temperaturas de transição	52
1.4 – Produção de plásticos	53
1.4.1 – Aditivos químicos	54
1.4.2 – Processos de moldagem	55
CAPÍTULO 2 - PLÁSTICOS NA ARTE E CULTURA	57
2.1 – História da arte	58
2.2 – Plásticos em coleções	73
CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA	76
3 – Metodologia	77

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	78
4 – Resultados e Discussão	79
4.1 – Levantamento de museus brasileiros com coleções plásticas	79
4.2 – Levantamento de museus brasileiros com coleções plásticas em dissertações	82
4.3 – Desafios da conservação de objetos plásticos em museus	86
4.3.1 – Plásticos como objetos culturais e bens museológicos	87
4.3.2 – Processos de deterioração	91
4.3.2.1 – Umidade relativa	94
4.3.2.2 – Luminosidade	95
4.3.2.3 – Temperatura	98
4.3.2.4 – Presença de oxigênio	100
4.3.2.5 – Poluentes ambientais	102
4.3.2.6 – Deterioração física	103
4.3.2.7 – Biodeterioração	104
4.3.2.8 – Emissão de compostos orgânicos voláteis.	106
4.3.3 – Métodos de conservação	112
4.3.3.1 – Identificação de plásticos	115
4.3.3.2 – Conservação preventiva de plásticos	118
4.3.3.3 – Diretrizes para conservação preventiva de plásticos em museus	118
4.3.3.4 – Conservação emergencial	120
4.3.3.5 – Acondicionamento	123
CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS	128
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	132

INTRODUÇÃO

Materiais plásticos, isto é, materiais feitos a base de polímeros sintéticos e aditivos, já são parte da vida cotidiana e da indústria há algumas décadas. Apesar de sua produção a nível industrial ter iniciado por volta de 1950, impulsionada pelo fim da Segunda Guerra Mundial, os primeiros plásticos, a base de polímeros semi-sintéticos, foram criados ainda no século XIX, como a borracha vulcanizada, o nitrato e o acetato de celulose (RUSTEMEYER, 2004; SHASHOUA, 2008).

Pela grande variedade de plásticos criados a partir de diferentes moléculas poliméricas sintéticas, e pelo relativo baixo custo, os materiais plásticos foram aplicados para os mais diversos fins: transformados em fibras, para a fabricação de têxteis; como substitutos de vidro e outros materiais; na produção de peças, aparatos e uniformes de guerra; na forma de espumas e cabos, como isolantes. Em 1969, foi implantado o primeiro coração artificial em um paciente humano, uma bomba que utilizava tecidos de Dacron, uma fibra de poliéster criada pela empresa Dupont, embutida em Silastic®, um elastômero de silicone da empresa Dow Corning. No mesmo ano, diferentes tipos de plásticos foram aplicados na fabricação dos trajes espaciais usados pelos astronautas Neil Armstrong e Buzz Aldrin (PEREIRA et al., 2016; LEARNER; MADDEN, 2014).

Acompanhando o crescimento exponencial da fabricação de plásticos pelas indústrias no mundo, que de 1950 até 2014 cresceu em 20 vezes, a poluição ambiental, e principalmente, marítima, vem crescendo em conjunto. Estima-se que, desde a metade do século XX, 8,9 bilhões de toneladas de plásticos tenham sido produzidas globalmente, e que, dois terços deste número, ou, 6,3 bilhões de toneladas, viraram lixo, enquanto 2,6 bilhões de toneladas ainda estão em uso. Calcula-se que mais de 8 milhões de toneladas de plásticos são descartadas nos oceanos anualmente, o que leva ao surgimento de enormes aglomerações de plásticos flutuantes, chamadas giros (FAPESP, 2019; WORLD ECONOMIC FORUM, 2016, 2017a).

Por conta dessa poluição, conforme vão sofrendo ações de intempérie, os plásticos vão se fragmentando em partículas microscópicas, que acabam sendo ingeridas por animais marinhos e crustáceos, conseqüentemente levando à ingestão

de plásticos por humanos que os consomem (FAPESP, 2019; JAMBECK et al., 2015). De acordo com o Fundo Mundial pela Natureza (WWF, 2019), o Brasil é o 4º país na lista dos que mais produzem lixo plástico no mundo, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, China e Índia.

Seguindo os avanços tecnológicos e a produção industrial, os plásticos também adentraram o mundo da arte. Desde as primeiras décadas do século XX, nos trabalhos de Naum Gabo, Antoine Pevsner e Laszlo Moholy-Nagy, os plásticos tem assumido diversas cores e composições na forma de obras de arte. Também foram utilizados por artistas do movimento *Pop Art*, e do Novo Realismo Francês e, com o surgimento da arte contemporânea, seu uso se popularizou ainda mais (FIEDLER, 2001; GALENSON, 2017; LUCIE-SMITH, 1991; MOHOLY-NAGY, 1950; RADFORD, 2017).

No Brasil, Macello Nitsche foi um dos primeiros artistas a fazer uso do material. Também foram exibidos diversos trabalhos contendo materiais plásticos em várias edições da Bienal de São Paulo, durante as décadas de 1960 e 1970. A artista carioca Márcia X, que atuou entre os anos 1980 e 2000 também fez grande uso dos materiais em suas performances e peças criadas (DONATO, 1972; RESTANY, 2011, SÁ, 2014).

Por conta dessa trajetória na história da arte, também somado ao fato de que muitos objetos domésticos, roupas e aparelhos dos séculos passados adentraram acervos históricos, os materiais plásticos são encontrados em museus, nos acervos e coleções, como também atuando como estruturas, mostruários e afins.

Brenda Keneghan (1996), cientista de polímeros do Victoria & Albert Museum, que se tornou responsável por um projeto de identificação de plásticos nas coleções da instituição em 1994, conta sobre uma atitude que presenciou com frequência ao tratar com os responsáveis das diversas coleções, que afirmavam seguramente não haver ali peças feitas de materiais plásticos. Keneghan (1996) associa esta “síndrome” à errônea correlação feita de que plásticos são materiais recentes, sem conexão com o passado, o que não é verdade, já que, como comentado, os primeiros plásticos criados surgiram ainda no século XIX, assim, eles existem na história há pelo menos um século e meio.

A partir do momento que obras de arte e objetos plásticos em geral fazem parte de acervos museológicos, estes – assim como os outros materiais – tendem a sofrer interações com o ambiente, e, conseqüentemente, com agentes que podem

acabar induzindo mecanismos de deterioração. Um desses agentes é a umidade, que pode causar hidrólise; outro é a radiação ultravioleta (UV), que pode induzir a cisão de cadeias poliméricas, o que causa diminuição na molecular e alteração nas propriedades mecânicas; a presença de poluentes atmosféricos, que reagem com as estruturas químicas, bem como até mesmo ataques biológicos de microorganismos, como fungos e bactérias (CAPPITELLI; PRINCIPI; SORLINI, 2006; SHASHOUA, 2008; WILLIAMS, 1997).

Ainda, no caso dos plásticos, existem os chamados por Williams (2002, p.1) de “plásticos malignos”, que ao iniciar mecanismos de deterioração acabam emitindo compostos orgânicos voláteis (aqui chamados de COV), que além de acelerar o próprio processo deteriorante, também induzem mecanismos de deterioração em outros objetos próximos.

Dessa forma, é de grande importância que profissionais que atuem como conservadores-restauradores e museólogos tenham conhecimento deste material tão amplo, afinal, não se trata apenas de um único material, mas sim de uma ampla variedade de materiais poliméricos sintéticos, e que sofrem deteriorações diferentes, cada um de acordo com sua estrutura química.

Como a conservação preventiva – que se refere a um conjunto de medidas e ações preventivas em relação ao controle ambiental, acondicionamento, transporte e exposição – pode ser definida como uma análise e consequente prevenção das interações químicas que podem ocorrer entre os agentes ambientais e os objetos plásticos, é fundamental que responsáveis por coleções realizem identificação e levantamento dos materiais plásticos que possuam, para que assim possa ser elaborado um plano de conservação mais adequado possível para esses materiais (CÂNDIDO, 2006; COSTA, 2006; MUÑOZ-CAMPOS, 2012).

A escolha do tema desta pesquisa foi motivada pela percepção de que ainda não existe grande literatura e materiais publicados a respeito da conservação de materiais plásticos (também chamados de materiais modernos) em âmbito museológico de forma específica, e menos ainda em língua portuguesa. Além disso, como apontado por Brenda Keneghan (1996), existe também uma falta de informação por parte de profissionais de área a respeito da existência de materiais plásticos nas coleções, já que esses podem assumir diversas formas, dimensões, cores e aparências, muitas vezes passando despercebidos.

Como será tratado ao longo do trabalho, diferente do que o senso comum sugere, materiais plásticos não possuem longevidade tão extensa, e podem se tornar frágeis se não conservados e armazenados de forma correta, além de também poder apresentar riscos a outros objetos, como comentado a respeito dos “plásticos malignos” (WILLIAMS, 2002, p.1).

Dessa forma, a pesquisa tem como objetivo geral averiguar os desafios relacionados a conservação de objetos plásticos em museus, focando nos que constituem acervos e coleções, e como objetivos específicos identificar agentes deteriorantes e mecanismos de deterioração em materiais plásticos em museus, apresentar propostas de conservação dos mesmos, e ainda, contribuir para a pesquisa do tema na área de conservação e restauração, como também produzir material bibliográfico na língua portuguesa. Além disso, pode-se citar como objetivo colateral a formação de recursos humanos, com a contribuição direta no conhecimento interdisciplinar que o Conservador-Restaurador requer para a sua profissão.

Para a realização deste trabalho, foi utilizado como base de dados científicos o portal Science Direct, para a compilação de artigos científicos que tratam da deterioração de plásticos, tanto em âmbito museológico como em outros contextos – como em relação a poluição ambiental e ataques de microorganismos – publicações em periódicos de instituições museológicas, que tratam da conservação de plásticos em acervos, algumas dissertações brasileiras de mestrado, que auxiliaram no levantamento de museus e acervos brasileiros, diversos livros na área da química e da história da arte, além de alguns sites de museus e instituições.

A metodologia também contou com uma etapa de pesquisa de campo de caráter remoto junto a instituições museológicas com o intuito de que as mesmas fossem capazes de identificar em seu acervo a presença de material plásticos, a partir de pesquisas em seus sites, e quando os mesmos não forneciam informação, contato direto por e-mail com profissionais responsáveis pelos acervos.

Desse modo, o trabalho foi dividido nos seguintes capítulos:

- **Capítulo 1– Plásticos**

Neste capítulo será apresentado um panorama geral a respeito da produção de plásticos no mundo, desde o início de sua produção a nível industrial, a partir da metade do século XX, até os dias de hoje, também focando na indústria no Brasil, e comentando sobre a poluição causada pela excessiva produção e descarte do

material. Em seguida, será traçado o percurso que os materiais plásticos correram, desde as primeiras criações a partir de polímeros semi-sintéticos, ainda no século XIX, até os plásticos mais comuns, produzidos até hoje, sintetizados ao longo do século XX. Por fim, serão comentadas as propriedades químicas dos polímeros constituintes de plásticos, a respeito de sua estrutura molecular e propriedades, processos de polimerização, concluindo com as etapas do processo de fabricação industrial de plásticos.

- **Capítulo 2 – Plásticos na arte e cultura**

Neste capítulo será apresentada uma linha do tempo da história da arte a partir de artistas que utilizaram materiais plásticos em seus trabalhos, desde o começo do século XX, tendo Naum Gabo e Antoine Pevsner como precursores, até os dias de hoje, comentando artistas estrangeiros e também brasileiros. Também é abordada a questão de plásticos em acervos museológicos a partir de alguns artigos e estudos focando em instituições estrangeiras.

- **Capítulo 3 – Metodologia**

Neste capítulo, serão descritas as etapas para a realização desta pesquisa. A primeira etapa realizada foi um levantamento de museus brasileiros que poderiam apresentar objetos plásticos em suas coleções através do site do Governo Federal <http://museus.cultura.gov.br/>, e em seguida, o contato direto por e-mail com os responsáveis dos acervos de museus que não possuíam tal informação disponível em seus sites. A segunda etapa realizada foi uma pesquisa em cima de dissertações de mestrado brasileiras que abordavam acervos plásticos em algumas instituições selecionadas pelas autoras. A terceira etapa realizada foi a compilação de artigos científicos, utilizando um bando de dados seguros, neste caso, o Science Direct, como também periódicos e publicações de instituições museológicas, além de livros que abordassem o tema da conservação de plásticos.

- **Capítulo 4 – Resultados e Discussões**

Neste capítulo, serão apresentadas os resultados e discussões dos levantamentos realizadas na etapa metodológica bem como será explicitada a existência de objetos plásticos enquanto objetos culturais e bens museológicos, a partir da perspectiva museológica da definição de museus, acervos, bens, coleções, também tratando da necessidade da conservação desses bens. Em seguida, serão abordados os diversos agentes e fatores que contribuem para os mecanismos de deterioração que materiais plásticos sofrem enquanto parte de acervos

museológicos, e por fim, serão apresentadas propostas de conservação deste material em museus, a partir da bibliografia já existente.

- **Capítulo 5 – Considerações finais e perspectivas**

Neste capítulo são apresentadas as considerações finais em torno do que foi pesquisado, a respeito dos objetivos gerais e específicos e se estes foram atingidos, além das conclusões referentes ao que foi levantado ao longo do trabalho, e quais as perspectivas em relação à continuidade da pesquisa.

CAPÍTULO 1 – PLÁSTICOS

1 – PLÁSTICOS

A palavra “plástico” é utilizada, de forma geral, para se referir a uma ampla alçada de materiais compostos por misturas de polímeros de alto peso molecular e outras substâncias químicas que aprimoram suas habilidades mecânicas. Assim, a partir da manipulação de polímeros naturais e sintéticos, os plásticos assumiram presença na vida cotidiana, na forma das tintas, adesivos, espumas, fibras têxteis, filmes, telefones, brinquedos e até mesmo aviões, barcos, lentes de contato, computadores etc (PEREIRA et al., 2016).

Por serem materiais tão versáteis, podem ser aplicados para os mais diversos fins, como o caso do primeiro coração artificial implantado em um paciente humano, por Denton Cooley, em 1969. Tratava-se de uma bomba desenvolvida por Domingo Liotta que utilizava tecidos de Dacron, uma fibra de poliéster criada pela empresa DuPont, embutida em Silastic, um elastômero de silicone da empresa Dow Corning. Atualmente o órgão está exposto no Museu Nacional da História Americana (Smithsonian’s National Museum of American History). Também em 1969 os plásticos assumiram papel importante na história da humanidade, usados para a fabricação das roupas espaciais utilizadas pelos astronautas Neil Armstrong e Buzz Aldrin. Os trajes foram compostos principalmente por polímeros sintéticos, fazendo uso de poliamidas, poliéster, neoprene, politetrafluoroetileno, policloreto de vinila plastificado, poliuretano, policarbonato e borracha de silicone, tomando forma de têxteis, revestimentos, tubos e espumas (LEARNER; MADDEN, 2014).

1.1 – Panorama

Pensar hoje em um mundo sem plásticos é uma tarefa quase impossível, já que o material se encontra presente no cotidiano e em inúmeros setores da indústria, sendo indispensável em áreas como embalagens, construção, transporte, medicina e eletrônicos. Exemplo disso é que atualmente os materiais plásticos compõem 15% do peso de um carro, e 50% do aeromóvel Boeing Dreamliner. Essa preferência de uso se dá ao enorme benefício econômico que os plásticos apresentam para esses setores, pela combinação de baixo custo, versatilidade,

durabilidade e alta força específica, de acordo com relatório publicado em 2016 pelo Fórum Econômico Mundial (World Economic Forum).

1.1.1 – Mundo

O sucesso do uso de materiais plásticos pode ser observado a partir do crescimento exponencial de sua produção pelos últimos 50 anos. Desde 1964, a produção de plásticos aumentou cerca de vinte vezes, atingindo 311 milhões de toneladas em 2014 (Gráfico 1). A expectativa é que nos próximos 20 anos a produção duplique, e que até 2050 quadruplique (WORLD ECONOMIC FORUM, 2016)).

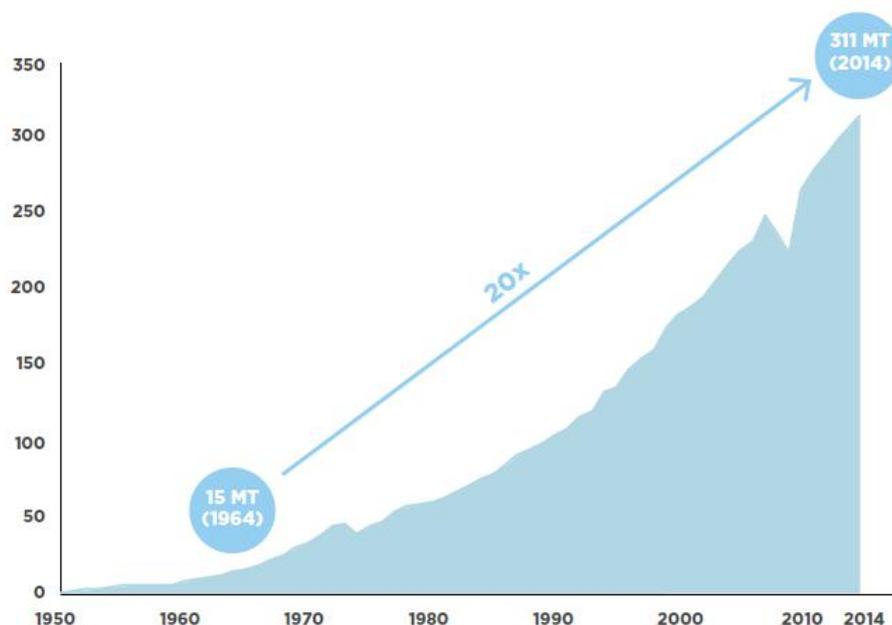


Gráfico 1: Crescimento da produção mundial de plástico entre 1950-2014, em milhões de toneladas. Fonte: The New Plastics Economy - Rethinking the future of plastics, World Economic Forum, 2016.

A *PlasticsEurope*, uma associação comercial que representa os fabricantes de plástico ativos na indústria europeia, publica anualmente um relatório chamado *Plastics - The Facts* (Plásticos - Os Fatos) onde apresenta dados tanto da Europa, quanto do mundo, em relação à produção de plásticos, aplicações, trocas comerciais, entre outros. A publicação *Plastics - The Facts 2017* informa que a produção mundial de plásticos em 2015 foi de 322 milhões de toneladas (58 milhões na Europa), e em 2016, 335 milhões de toneladas (60 milhões na Europa). A *Plastics - The Facts 2018* informa uma produção de 348 milhões de toneladas no

ano de 2017 (64,4 milhões na Europa), e a *Plastics - The Facts 2019*, a mais recente publicada, aponta produção de plástico de 359 milhões de toneladas no ano de 2018 (61,8 milhões na Europa).

Em relação à proporção da produção mundial de plásticos, pode-se observar que, a partir da Figura 1, a maior concentração de produção ocorre na Ásia, com 51% do total da produção global. Destes 51%, 30% estão concentrados somente na China. Já as menores concentrações são na África e Oriente Médio, que somam 7%, na América Latina, com 4% e na Comunidade dos Estados Independentes (CEI), com apenas 3% em relação ao total.

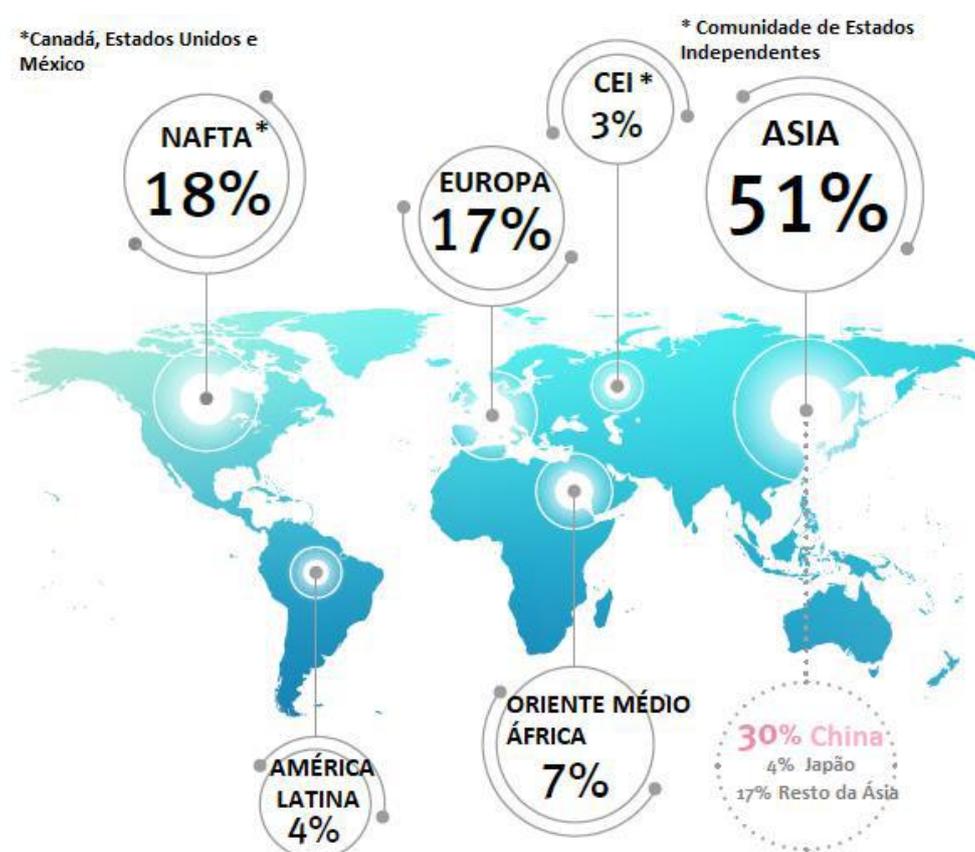


Figura 1: Concentração de produção de plástico no mundo.
 Fonte: *Plastics - The Facts 2019*, PlasticsEurope. Tradução da autora.

O maior mercado de aplicação dos plásticos produzidos globalmente é o das embalagens, em forma de recipientes e sacolas plásticas, o que representa em torno de 26% do total produzido. Entre 2000 e 2015, a parcela de plásticos nos números globais de embalagem aumentou de 17% para 25%, impulsionada por um forte crescimento no mercado global de embalagens plásticas, de 5% ao ano. Em 2013, 78 milhões de toneladas de embalagens plásticas foram colocadas no mercado pela

indústria, o que representa um total de 260 bilhões de dólares. O volume de embalagens plásticas produzidas deve duplicar em 15 anos, e mais que quadruplicar até 2050, atingindo em torno de 318 milhões de toneladas anualmente (WORLD ECONOMIC FORUM, 2016).

Também relevante na aplicação de plásticos, está o mercado de construção civil, que aplica o material para os mais diversos usos, como tubos, revestimento e isolantes. Em menor escala, mas igualmente significantes, são as aplicações de plástico pela indústria automotiva, na produção de móveis e também brinquedos. Ainda, há também a indústria têxtil, que faz uso de plástico para fabricação de roupas. Em torno de 40 milhões de toneladas de plástico foram transformadas em fibras têxteis para uso industrial no mundo (ANDRADY; NEAL, 2009).

1.1.2 – Brasil

De acordo com Fleury & Fleury (apud MARTINS, 2014) anteriormente a produção de plásticos no Brasil ocorria de forma muito difusa, já que as empresas acabavam escolhendo produtos e mercados com o objetivo apenas de ampliar a utilização de sua capacidade instalada, assim como obter a maior lucratividade possível. Já com a abertura dos mercados, e, conseqüentemente, o aumento do fluxo internacional de produtos, dentre eles, plásticos, decorreu-se uma intensificação na competitividade entre as empresas do setor, o que resultou na otimização das produções.

Os principais métodos utilizados na produção de transformados plásticos são a extrusão, injeção, rotomoldagem, emulsão e transformagem a vácuo. No Brasil, somente os processos de extrusão e injeção representam mais de 80% da produção de artigos plásticos (IBGE apud MARTINS, 2014), sendo a extrusão usada principalmente na fabricação de perfis para esquadrias de janelas e tubos, no setor da construção civil; tanques de combustível, fios e cabos elétricos revestidos, no setor automobilístico. Já o processo de injeção é utilizado para a produção de produtos mais nobres que necessitam de detalhes específicos, como é o caso de roscas, furos e encaixes precisos, utilizados nos setores automobilístico e aeroespacial (MARTINS, 2014).

A Associação Brasileira da Indústria do Plástico (ABIPLAST), que, de acordo com seu website, começou a atuar em 1967, e atualmente representa um total de 12 mil empresas e 325 mil profissionais, publica anualmente relatórios referentes à produção e ao mercado dos plásticos no Brasil. O relatório Perfil 2019, o mais recente publicado, apresenta dados em relação à indústria brasileira do plástico pelos últimos 10 anos. A partir do Gráfico 2, pode-se observar o comportamento da produção industrial, que, na primeira metade dos anos 2010, apresentou estabilidade, produzindo em torno de 8,6 milhões de toneladas anualmente, e que, a partir de 2015, e, principalmente, 2016, registrou queda nos números, caindo para 7 milhões de toneladas.

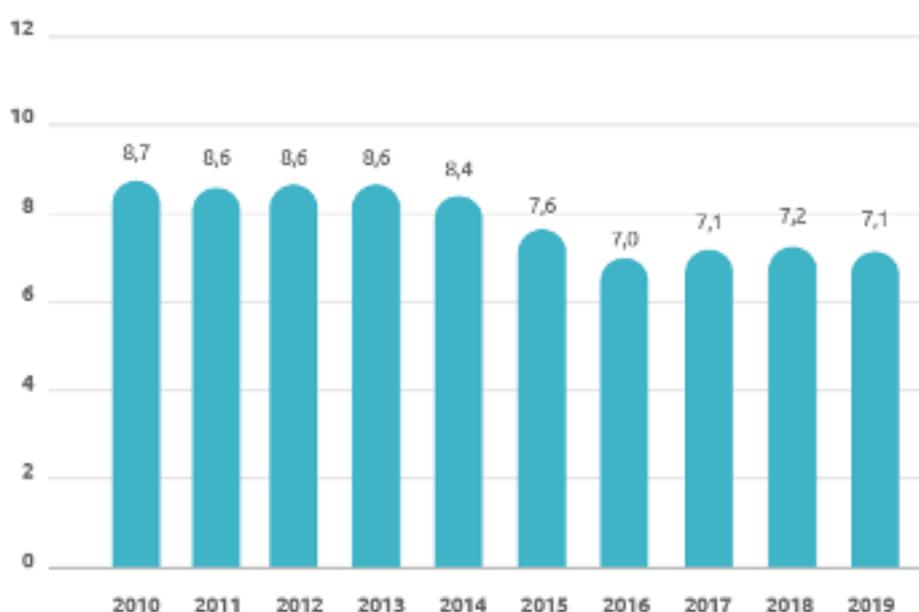


Gráfico 2: Produção de transformados plásticos no Brasil em milhões de toneladas.
Fonte: Perfil 2019, ABIPLAST

Acompanhando a queda da produção, o número de empresas existentes e, principalmente, de empregos no setor também registrou queda, como é possível observar nos Gráficos 3 e 4.

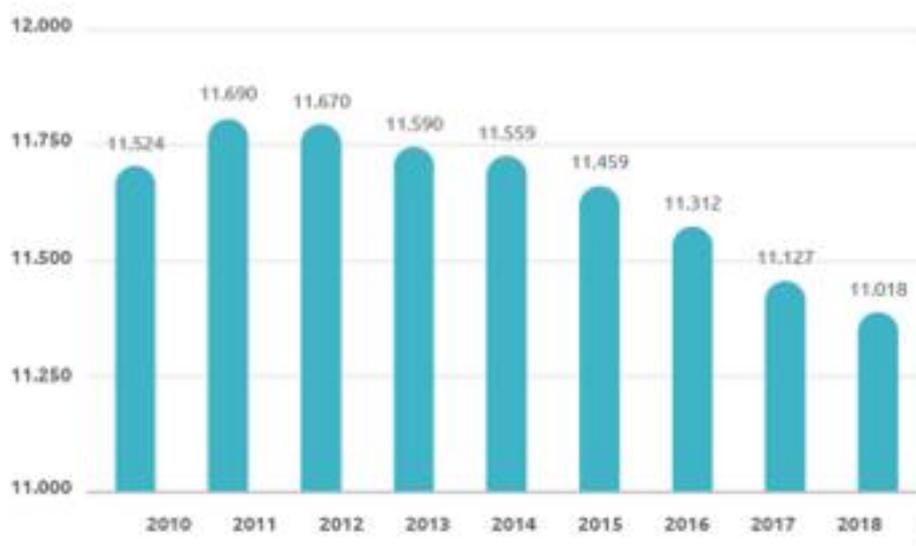


Gráfico 3: Empresas na indústria de transformados plásticos no Brasil
Fonte: Perfil 2019, ABIPLAST

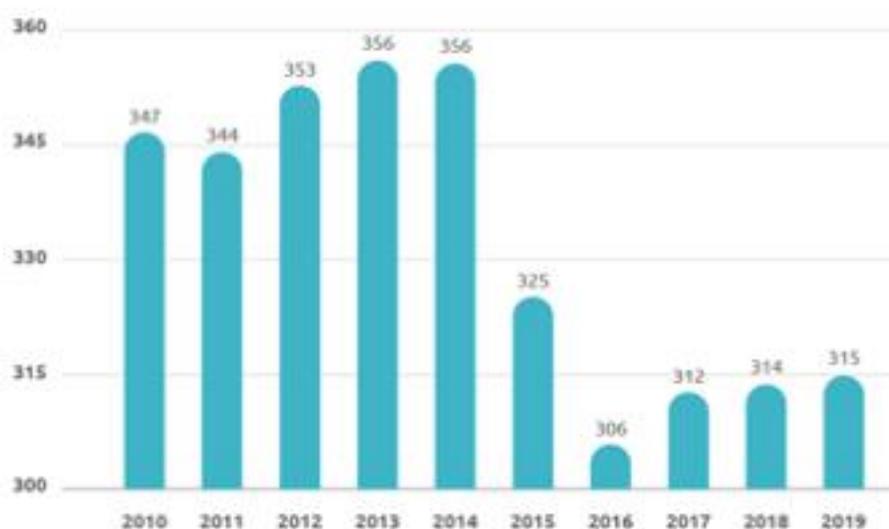


Gráfico 4: Empregos na indústria de transformados plásticos no Brasil, em mil empregos.
Fonte: Perfil 2019, ABIPLAST

Como é possível observar nos Gráfico 3 e 4, segundo a ABIPLAST, após a crise política e econômica que atingiu o Brasil, a geração de empregos no setor de transformados plásticos voltou a se recuperar a partir de 2016, atingindo em 2019 a marca de 315 mil empregos, aproximadamente. Porém, mesmo com a tendência de crescimento entre esses anos, os números ainda estão longe de alcançar o total de 356 mil empregos, alcançados entre 2013 e 2014. Apesar da queda, a indústria de transformados plásticos ainda é a 4ª que mais emprega no Brasil, dentre o setor da

indústria de transformação brasileira, e dentre as cinco maiores, está em 2º lugar dentre as que oferecem melhores salários.

O Perfil 2019 indica que os números exatos, para o ano de 2019, foram de 314.784 empregos, e, em relação aos dados de 2018, 11.018 empresas. Dentre esses, as maiores concentrações ocorrem nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, com o estado de São Paulo liderando com 4.693 empresas, o que representa 42,6% do total, seguido do Rio Grande do Sul, com 1.187 empresas, 10,8% do total, e, em terceiro lugar, Santa Catarina, com 1.001 empresas, 9,1% do total. Também indica que os maiores mercados consumidores de transformados plásticos no Brasil, de acordo com dados de 2017, são a construção civil, representando 22,5%, a indústria alimentícia, com 20,3% e a indústria de automóveis e autopeças, com 8,6%.

Em 2020, apesar dos impactos causados pela crise do coronavírus, matéria publicada em 3 de setembro pela Agência de Notícias do IBGE indica que a produção industrial nacional teve alta pelo terceiro mês seguido. Em julho, após crescimento iniciado em maio, pela primeira vez desde 2002, 25 dos 26 setores apresentaram taxa positiva, dentre eles, o setor de produtos de borracha e material plástico, com crescimento de 9,8%.

1.1.3 – Impactos ambientais: Poluição

Toda produção mundial de plásticos, comentada anteriormente, que anualmente atinge a casa das centenas de milhões de toneladas, não teria como acontecer sem consequências. De acordo com matéria publicada em julho de 2019, pela revista editada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), a Pesquisa FAPESP, estima-se que 8,9 bilhões de toneladas de plásticos primários, os virgens, e secundários, os reciclados, tenham sido produzidas globalmente desde a metade do século XX, quando os plásticos começaram a ser fabricados em escala industrial. Desse total, dois terços, ou, 6,3 bilhões de toneladas, viraram lixo, enquanto 2,6 bilhões de toneladas ainda estão em uso.

Estudo realizado pelo Fundo Mundial Pela Natureza (WWF), em 2019, indica que se essa produção acelerada mantiver seu ritmo, até 2030, mais de 104 milhões de toneladas de plástico poluirão os ecossistemas do planeta.

Segundo Jambeck et al. (2015), em 1960, os plásticos representavam menos de 1% dos resíduos sólidos urbanos por massa nos Estados Unidos, e que em 2000 essa proporção aumentou em uma ordem de magnitude. Já em 2005, plásticos representavam pelo menos 10% dos resíduos sólidos em massa em 58% dos países com dados disponíveis (61 países de 105).

Em relação ao descarte excessivo de plásticos - principalmente relacionado com o fato de o maior setor do mercado que os consomem ser o de embalagens, produtos pensados para serem usados apenas uma vez - além da poluição que afeta a qualidade do ar, e dos solos - como queimas, incinerações e descartes inadequados-, um fator específico que preocupa especialistas é a poluição marítima (WWF, 2019).

Calcula-se que, anualmente, mais de 8 milhões de toneladas de plásticos são descartadas nos oceanos, trazendo riscos aos ecossistemas marinhos, o que causa, entre outros problemas, enormes aglomerações de plásticos flutuantes, chamados giros. Estima-se que 5 trilhões de itens plásticos, a sua maioria medindo menos de cinco milímetros, estão circulando nas superfícies dos oceanos do globo. Resíduos não descartados propriamente podem acabar atingindo os oceanos por meio de vias aquáticas navegáveis nos continentes, escoamento de águas residuais e transporte por ventos e marés. (FAPESP, 2019; JAMBECK et al., 2015; WORLD ECONOMIC FORUM, 2017a; WWF, 2019).

Como um dos consequentes resultados da intensa poluição marítima, está a Ilha de Henderson, pertencente ao grupo de Ilhas Pitcairn, que integra o Patrimônio da Humanidade, próxima à Polinésia Francesa. A ilha possui em suas praias aproximadamente 38 milhões de itens de lixo plástico, o que soma um total de 17 toneladas, tornando-a o lugar com a mais alta densidade do material descartado no planeta (WORLD ECONOMIC FORUM, 2017a).

Pesquisadores que realizaram estudos na ilha comentaram que apenas 7% do lixo, vindo de todas as partes do mundo, estava relacionado à atividade pesqueira, e que somente $\frac{1}{4}$ do total vinha da América do Sul, levados pelos movimentos das correntes do giro do Pacífico Sul, que realiza movimento anti-horário, após subir para o norte do continente. Evidentemente, tal impacto ambiental também afeta a fauna local. Enquanto foi observado que caranguejos passaram a usar vasilhas e objetos plásticos como casas, tartarugas marinhas foram avistadas mortas enroladas em lixo (WORLD ECONOMIC FORUM, 2017a).

Também alarmante na questão da poluição marítima é a ingestão de minúsculas partículas de plástico pelas espécies marinhas. Durante 1990 e 2000, empresas de cosmético e higiene passaram a utilizar cada vez mais microesferas de plástico sólido como limpadores e esfoliantes em sabonetes, géis e pastas de dente. Com isso, trilhões de microesferas acabaram descartadas em ralos domésticos, fazendo um caminho que as levaria aos oceanos, e, conseqüentemente, sendo ingeridas por peixes, crustáceos, corais, entre outros. De forma semelhante, lixos plásticos presentes no mar acabam sofrendo intempérie pelo ambiente, e com isso vão se fragmentando até atingir tamanhos que mesmo pequenos invertebrados podem ingerir. Por esses fatores, microplásticos e nanoplásticos vêm sendo consumidos por humanos pela ingestão de sal e pescado, principalmente mariscos, mexilhões e ostras. Ainda, também existem estudos que apontam que 241 em cada 259 garrafas de água estão contaminadas com microplásticos. Apesar da informação alarmante, ainda não são muito conhecidos os impactos dessa exposição à saúde humana (DAUVERGNE, 2018; JAMBECK et al., 2015; WWF, 2019).

Segundo o WWF (2019), o Brasil é o 4º país que mais gera lixo plástico no mundo, produzindo aproximadamente 11,3 milhões de toneladas anualmente, ficando atrás apenas dos Estados Unidos, China e Índia, o que representa aproximadamente 1 quilo de lixo por habitante, a cada semana. Desse total, mais de 10,3 milhões de toneladas, ou 91%, são coletadas, mas apenas 145 mil toneladas são recicladas, o que representa apenas 1,28% do total, sendo um número bem abaixo da média global de reciclagem plástica, que é de 9% (Quadro 1).

País	Total de lixo plástico gerado*	Total incinerado	Total reciclado	Relação produção e reciclagem
Estados Unidos	70.782.577	9.060.170	24.490.772	34,60%
China	54.740.659	11.988.226	12.000.331	21,92%
Índia	19.311.663	14.544	1.105.677	5,73%
Brasil	11.355.220	0	145.043	1,28%
Indonésia	9.885.081	0	362.070	3,66%
Rússia	8.948.132	0	320.088	3,58%
Alemanha	8.286.827	4.876.027	3.143.700	37,94%
Reino Unido	7.994.284	2.620.394	2.513.856	31,45%
Japão	7.146.514	6.642.428	405.834	5,68%
Canadá	6.696.763	207.354	1.423.139	21,25%

Quadro 1: Países que mais produzem lixo plástico anualmente, em toneladas.

*Valor total de lixo plástico descartado em resíduos sólidos urbanos, resíduos industriais, resíduos de construção, lixo eletrônico e resíduos agrícolas, na fabricação de produtos durante um ano.

Fonte: WWF, 2019

Mesmo a parcela de lixo plástico que é enviada para a reciclagem no Brasil sofre perdas no processo de separação de tipos de plástico, por poderem estar contaminados, serem multicamadas ou de baixo valor. Por conta disso, 7,7 milhões de toneladas de lixo plástico são enviadas para aterros sanitários, e outras 2,4 milhões de toneladas são descartadas de forma irregular, sem nenhum tipo de tratamento (WWF, 2019).

Já a Índia, que está em terceiro lugar dentre os países que mais descarta o material, é responsável por 60% de todo lixo plástico que chega aos oceanos anualmente. Além disso, queimas ilegais em massa de plásticos e outros resíduos em lixões em Dheli acabaram agravando a poluição do ar. Por conta disso, o uso de plásticos descartáveis foi banido na capital do país, tornando-se proibido o uso de sacolas, copos e talheres plásticos. Também em Karnataka, um estado no sudoeste do país, nenhum atacadista, varejista ou comerciante em geral tem permissão de usar ou vender produtos de plástico descartáveis (WORLD ECONOMIC FORUM, 2017b).

1.2 – História dos plásticos

Como já mencionado na introdução deste capítulo, a palavra plástico é um termo genérico utilizado para tratar de diversos materiais poliméricos misturados com aditivos.

A palavra “polímero” vem das palavras gregas “poly”, que significa “muitas”, e “meres”, que significa “partes”. Assim, polímeros são longas moléculas - ou, macromoléculas - formadas por pequenas partes, os monômeros, que se repetem inúmeras vezes (CANEVAROLO JR, 2006). Pela IUPAC^{1 2} (1997), “polímero é uma molécula de alta massa molecular relativa, cuja estrutura compreende essencialmente a múltipla repetição de unidades derivadas de moléculas de baixa massa molecular relativa”.

Alguns polímeros, os naturais, encontram-se presentes na natureza, como é o caso da seda, celulose, e certas proteínas. Já os polímeros semi-sintéticos

¹ Internation Union of Pure and Applied Chemistry

² IUPAC. Compendium of Chemical Terminology, 2nd ed. (the "Gold Book"). Compiled by A. D. McNaught and A. Wilkinson. Blackwell Scientific Publications, Oxford (1997). Online version (2019-) created by S. J. Chalk. ISBN 0-9678550-9-8. <https://goldbook.iupac.org/terms/view/M03667>

começaram a surgir a partir de experimentos iniciados no século XIX, e os sintéticos passaram a ser sintetizados e fabricados de forma comercial a partir do século XX (FRIED, 2014, SHASHOUA, 2008).

1.2.1 – Plásticos semisintéticos

Entre 1830 e 1840, Charles Goodyear e Thomas Hancock desenvolveram um processo de vulcanização do látex da borracha natural, oriunda do continente americano, utilizando enxofre, o que resultou na borracha vulcanizada (Figura 2), que apresentava ótima elasticidade numa ampla gama de temperatura, além de ser resistente a solventes, servindo como um bom elastômero para pneus (CANEVAROLO JR, 2006; FRIED, 2014; SHASHOUA, 2008).

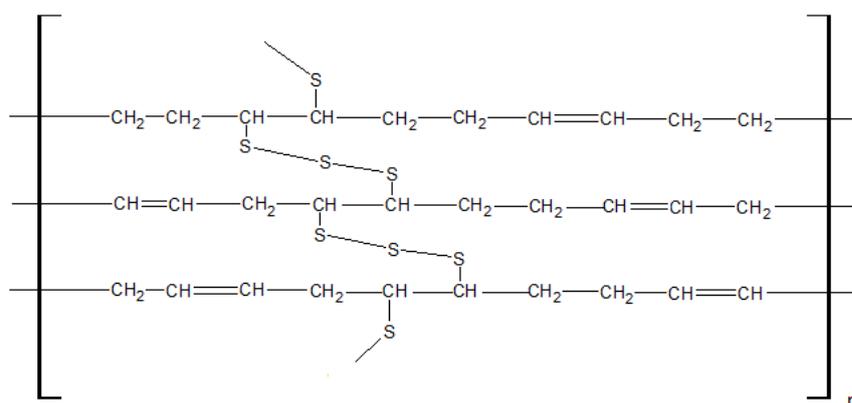


Figura 2: Estrutura da borracha vulcanizada.
Fonte: Imagem da autora.

Em 1846, o químico suíço Christian Schönbein ao tratar um papel - que tem na composição o polímero natural da celulose - com uma mistura de ácido nítrico e ácido sulfúrico acabou criando, não intencionalmente, o primeiro polímero semi-sintético, o nitrato de celulose (NC) (Figura 3).

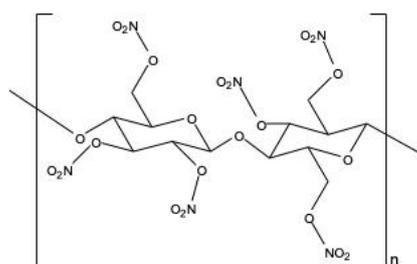


Figura 3: Estrutura do nitrato de celulose.
Fonte: Imagem da autora.

A substância era solúvel em líquidos orgânicos, amolecia com calor, além de ser altamente inflamável, sendo considerada por um tempo apenas como explosivo, tendo sido chamada de “arma de algodão”. Anos mais tarde, um metalúrgico inglês, chamado Alexander Parkes, tentou aplicar seu conhecimento de materiais para moldar o nitrato de celulose. Assim, percebeu que as formas encolhiam ao secar, mas que a adição de cânfora aquecida agindo como plastificante e amaciante solucionava o problema. O produto foi então lançado ao mercado sobre o nome Parkesina, sendo usado em botões, pentes e jóias. Parkes tentou vender a Parkesina como substituto da borracha, ebonite e guta-percha, e, por serem mercados já limitados, seu negócio acabou indo à falência em dois anos. (CANEVAROLO JR, 2006; SHASHOUA, 2008)

Por volta de 1870, um impressor americano chamado John Wesley Hyatt, procurando criar um material para substituir os marfins das bolas de bilhar, usou a descoberta de Parkes, mas a aqueceu sob pressão e a moldou. O produto, conhecido como celulóide, o primeiro termoplástico, foi utilizado para fabricação de caixas, golas e punhos em camisas de linho, bolas de pingue-pongue, bonecos e placas dentais. Também foi muito utilizada para imitar a aparência de materiais naturais nobres, como mármore, marfim, madrepérola e cascas de tartaruga. A maior aplicação comercial da celulóide foi em forma de filmes, graças a sua transparência, flexibilidade e homogeneidade. A empresa Eastman Kodak começou a fabricar filmes feitos com celulóide em 1889, e em 1920 a indústria cinematográfica já era dependente do material (CANEVAROLO JR, 2006; SHASHOUA, 2008).

Em 1865, o químico alemão Schutzenberger tratou a celulose com ácido acético, no lugar do ácido nítrico, descobrindo assim o acetato de celulose (Figura 4), o que solucionava o problema da inflamabilidade do nitrato de celulose. Em 1879, Franchimont descobriu que, utilizando ácido sulfúrico como catalisador, poderia produzir a substância em temperatura ambiente, porém não reconheceu o potencial de sua descoberta. A primeira importante aplicação do material foi no revestimento de aviões. Também foi utilizado na fabricação de filmes de segurança não inflamáveis, e na imitação de materiais naturais nobres. Inicialmente fabricado na forma de tubos e folhas, foi disponibilizado em 1919 em forma de pó de moldagem, exibindo diversos graus de dureza. No início da década de 1920, o material passou a ser moldado em forma de fibras e utilizado na produção de têxteis por diversas

empresas, sendo até hoje utilizado na fabricação de roupas e filmes (RUSTEMEYER, 2004; SHASHOUA, 2008).

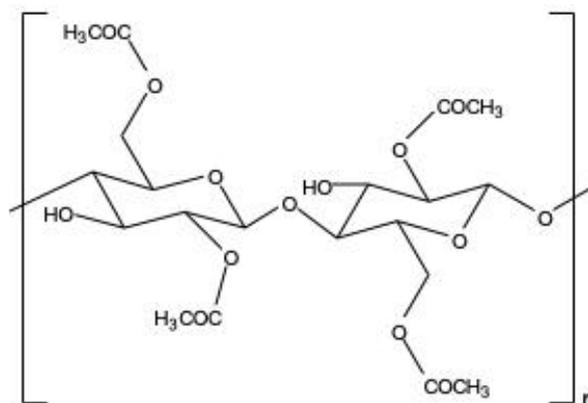


Figura 4: Estrutura do acetato de celulose.
Fonte: Imagem da autora

Outro plástico semi-sintético que apareceu ainda no século XIX foi a caseína-formaldeído. Em 1889, os alemães Krische e Spittler descobriram que quando tratada com formaldeído, a caseína - uma proteína natural encontrada no leite - endurecia, além de também adquirir resistência à umidade. Em produção comercial a caseína era extrudada em forma de hastes, enrolada em folhas e colorida antes do tratamento com o formaldeído. Por conta das cores e padrões disponíveis, o material foi utilizado na produção de botões, fivelas e agulhas de tricô. Uma desvantagem da caseína-formaldeído era ser muito sensível ao calor e à água, além de também ser muito dependente da indústria de laticínios. Atualmente sua produção é muito reduzida, por o produto ter sido substituído por novos plásticos sintéticos descobertos a partir do século XX (CANEVAROLO JR, 2006; BRYDSON, 1999; SHASHOUA, 2008).

1.2.2 – Plásticos sintéticos

O primeiro polímero inteiramente sintético usado na produção de plásticos foi uma resina polifenólica, proveniente da junção do fenol com formaldeído, também conhecida como resina fenol-formaldeído (Figura 5). Apesar de experimentos realizados com os compostos químicos por alguns cientistas ainda no século XIX, foi Leo Arthur Baekeland, um químico belga morando nos Estados Unidos, que

aperfeiçoou a sintetização do polímero. Baekeland descobriu que aquecer a mistura de fenol com formaldeído utilizando um catalisador enquanto se aplicasse pressão produzia um material duro, insolúvel, resistente a químicos e que não derretia, sendo assim o primeiro plástico termofixo. O produto foi patenteado em 1907 por Baekeland, ganhando o nome de Bakelite (BIJKER, 1993, 1995)..

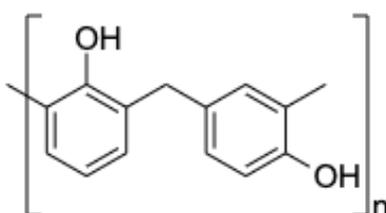


Figura 5: Estrutura do fenol-formaldeído.
Fonte: Imagem da autora.

Com o fim da patente em 1927, o produto passou a ser vendido sobre diversos nomes, como Nestorite, Mouldrite, Isolit e Nokait. Foi usado na fabricação de bolas de boliche, telefones, rádios, utensílios de cozinha e isolantes elétricos. Como resinas fenólicas apresentam coloração escura, o material só poderia gerar produtos em cores escuras como preto, vermelho e tons de marrom. Tal situação levou ao desenvolvimento de novos polímeros que pudessem ser produzidos em cores claras. Assim, entre 1920 e 1930 foram descobertos os polímeros da junção da uréia e formaldeído, chamado uréia-formaldeído, e da junção da tiouréia e formaldeído, chamado tiouréia formaldeído. Esses dois polímeros quando misturados a enchimentos de celulose e corantes adequados possibilitavam a fabricação de produtos em branco e outras cores vivas (SHASHOUA, 2008).

Em meados de 1930 a descoberta do polímero com melamina-formaldeído concluía o grupo de polímeros sintéticos termofixos de condensação do formaldeído. Visualmente bem próxima de produtos feitos de uréia-formaldeído, por causa das propriedades e cores claras e vivas, a melamina-formaldeído apresentava maior resistência ao calor, água e detergentes. Ela foi usada na fabricação de copos, saleiros, pratos e outros itens domésticos similares (BIJKER, 1993, 1995; BRYDSON, 1999; SHASHOUA, 2008).

Alguns polímeros sintéticos usados na produção de plásticos que surgiram no século XX na verdade já tinham sido descobertos no século XIX, porém os responsáveis pelos experimentos não deram continuidade às pesquisas. Um deles é o policloreto de vinila, o PVC (do inglês “Polyvinyl chloride”) (Figura 6). Em 1860,

Hoffman observou que o brometo de vinila, um líquido sem cor, se transformava em uma massa branca parecida com porcelana. Por não saber a natureza do processo, o chamou de metamorfose. Já em 1872, Baumann, pesquisando em cima deste acontecimento, foi a primeira pessoa a produzir PVC, ao colocar tubos com cloreto de vinila para reagir na luz do sol. Porém, por não encontrar aplicação para sua descoberta, deixou o experimento de lado

Em 1912, o alemão Kettle informou sobre um processo de produção de PVC que estava desenvolvendo, porém as dificuldades para produzir o polímero eram enormes, já que o PVC mostrou-se quebradiço e muito frágil ao calor e luz, além de termicamente instável, já que a temperatura que o degradava era a mesma necessária para sua produção. Assim, no mesmo ano, o químico russo Ostromislensky patenteou o processo de polimerização da substância. O produto foi considerado um bom substituto para o nitrato de celulose, por ser menos inflamável, porém as primeiras tentativas de produção industrial do plástico falharam, pela fragilidade do produto. Uma solução encontrada foi a copolimerização com o monômero acetato de vinila, processo que foi patenteado em 1928. Outra solução foi a incorporação de plastificantes e amaciantes, que diminuía sua temperatura de amolecimento, ou temperatura de transição vítrea (T_g), o que permitia processos em temperaturas mais baixas, além de conferir grande flexibilidade aos produtos finais. Tais aditivos químicos, assim como estabilizantes de luz e calor foram essenciais para o desenvolvimento e sucesso do PVC, já que plásticos estáveis e de longa duração feitos a partir do policloreto de vinila não poderiam ser fabricados sem eles. O PVC foi aplicado na forma de adesivos e folhas, como substituto da borracha natural em isolantes de cabos elétricos, devido às suas vantagens, entre elas, não correr os fios elétricos de cobre. Foi utilizado como pisos devido a sua alta resistência a abrasões, e também em embalagens, roupas e sapatos (KNOT; MULDER, 2001; SHASHOUA, 2008)

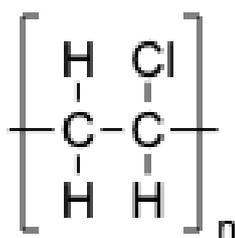


Figura 6: Estrutura do policloreto de vinila
Fonte: Imagem da autora

Da mesma forma que aconteceu com o PVC, o poliestireno (PS) (Figura 7) também foi sintetizado pela primeira vez ainda no século XIX, só tendo sido aproveitado e fabricado a nível comercial no século XX. Apesar de acreditar-se que o polímero foi sintetizado pela primeira vez em 1839, Kaufman (apud SHASHOUA, 2008) sugere que sua descoberta fora anterior a esta data, já que há registros descrevendo o poliestireno em estudo publicado em 1831 por Bonastre, apesar de não se saber se fora ele o responsável pela descoberta. O polímero começou a gerar interesse comercial em 1911, na Inglaterra, tendo sido considerado um substituto para a celulóide, mas sem sucesso. O desenvolvimento de moldagem por injeção possibilitou novas formas de aplicação, principalmente na Alemanha, por volta de 1930, e foi copolimerizado com o butadieno para a fabricação de borracha sintética, durante a Segunda Guerra Mundial. Apresenta como propriedades, além de sua aparência transparente, ser um bom isolante elétrico, resistente a ácidos e álcalis, e impermeável pela água. Fora utilizado na fabricação de lentes de contato, forros de geladeira e espumas isolantes (SHASHOUA, 2008).

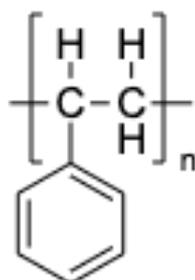


Figura 7: Estrutura do poliestireno.
Fonte: Imagem da autora.

Em 1933, cientistas da Alkali Division of Imperial Chemical Industries (Divisão Álcali das Indústrias Químicas Comerciais), no Reino Unido, realizando estudos a partir do efeito de alta pressão em reações químicas, perceberam a formação de um sólido branco ceroso quando o gás etileno era utilizado. O sólido fora então identificado como polietileno (PE) (Figura 8), a versão de baixa densidade, tendo sido descoberto que para sua polimerização era necessária a presença do oxigênio, que só esteve presente graças a um vazamento no experimento. O polímero apresenta grande capacidade de isolamento elétrico, além de ser resistente a químicos, tendo sido utilizado como isolante para cabos submarinos, com fabricação iniciada durante a Segunda Guerra Mundial, em 1939. Atualmente o polietileno é o

plástico de maior tonelagem, sendo usado principalmente na forma de embalagem para alimentos (BRYDSON, 1999; FRIED, 2014; SHASHOUA, 2008).

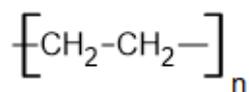


Figura 8: Estrutura do polietileno
Fonte: Imagem da autora

Além do polietileno, a Imperial Chemical Industries também foi responsável pela descoberta de um novo polímero de grande importância, o polimetilmetacrilato (PMMA) (Figura 9). Teve sua produção comercial iniciada em 1934, no Reino Unido, e sua rigidez, transparência e alta resistência deram ao material uma grande demanda para aplicação como substituto do vidro, mais sensível a intempéries. A produção do plástico feito de polimetilmetacrilato aumentou em 1200% entre 1940 e 1943, devido à escalada na produção de aeronaves e seus componentes (BRYDSON, 1999; SHASHOUA, 2008).

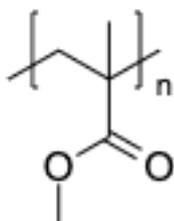


Figura 9: Estrutura do polimetilmetacrilato
Fonte: Imagem da autora

Outro polímero que, assim como o PVC e o poliestireno, poderia ter sido desenvolvido ainda no século XIX foi o poliuretano (PU) (Figura 10). Em 1849, Wurtz publicou relato a respeito da síntese em laboratório que havia realizado de uma substância a qual denominou uretano, porém, da mesma forma que os outros polímeros sintéticos, a descoberta só ganhou aplicação comercial no século XX, quando Otto Bayer desenvolveu os primeiros poliuretanos na Alemanha, na década de 1940. Na década de 1950 foi desenvolvida a fórmula para a fabricação de diversos tipos de espumas de poliuretano, aplicadas tanto em colchões e estofamentos, na forma flexível, quanto em funções técnicas, na forma rígida. Nos anos 1960, a utilização de clorofluorcarbonetos (CFCs) como agentes de expansão das espumas rígidas fez com que o material passasse a ser muito aplicado em

isolamentos térmicos, e já na década de 1970, espumas semi rígidas de poliuretano, revestidas com material termoplástico, adentraram de forma definitiva na indústria automobilística (CANGEMI; NETO; SANTOS, 2009).

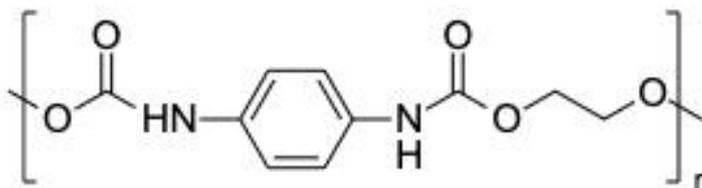


Figura 10: Estrutura do poliuretano.
Fonte: Imagem da autora.

O período da Segunda Guerra Mundial, entre as décadas de 1930 e 1940, trouxe uma grande demanda de materiais plásticos sintéticos - além de diversas novas possibilidades de aplicação - que estivessem de acordo com as necessidades das indústrias bélica, eletrônica e de alimentos. Até então produzidos como substitutos de materiais naturais, principalmente na forma de objetos domésticos e peças decorativas, os plásticos sintéticos passaram a ser desenvolvidos para que pudessem apresentar a melhor performance possível, já que as principais aplicações no momento envolviam máscaras de gás, capacetes de proteção, isolantes elétricos, componentes de rádio, entre outros aparatos de guerra. Além dos novos materiais que foram surgindo, o conhecimento científico a respeito de polímeros também avançou bastante. As descobertas, que até então haviam acontecido de forma empírica, passaram a ser feitas baseadas em princípios científicos (SHASHOUA, 2008).

Durante a década de 1930 foi descoberto o Nylon, nome comercial dado à família das poliamidas, transformado em fibra têxtil pela empresa Dupont e utilizado na produção de peças de roupa e guarda chovas, usado pela primeira vez como material de moldagem em 1941. No mesmo ano foi descoberto o politetrafluoretileno (PTFE) (Figura 11), anti aderente e com grande resistência a altas temperaturas, também desenvolvido pela empresa Dupont e patenteado sobre o nome de Teflon, que foi utilizado inicialmente como isolante elétrico e de rádios. Ainda no período da guerra desenvolveu-se o silicone, aplicado como repelente de água e em tintas resistentes a altas temperaturas, e resinas epoxis, com excelentes propriedades de adesão e resistência química. Os poliésteres, originalmente descobertos por volta de 1847, pelo químico sueco Berzelius, só passaram a ser produzidos industrialmente

em 1941. Em 1942 foram fabricados poliésteres laminados para serem utilizados como isolantes de antenas de radar. Os poliésteres reforçados com fibra de vidro foram utilizados na guerra para a fabricação de barcos, e posteriormente, na indústria do design, na forma de mobiliários (BRYDSON, 1999; FRIED, 2014; SHASHOUA, 2008).

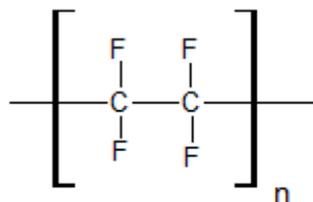


Figura 11: Estrutura do politetrafluoretileno.
Fonte: Imagem da autora.

Com o fim da Segunda Guerra Mundial, alguns polímeros, como o polietileno, poliestireno e o PVC, anteriormente de alto custo e produção específica, passaram a ser fabricados em larga escala e por preços mais baixos. Entre 1945-1955 alguns novos polímeros também surgiram na indústria dos plásticos, entre eles a versão de alta densidade do polietileno, seguido da descoberta do polipropileno (Figura 12), tendo ambos se tornado os termoplásticos de maior tonelagem (BRYDSON, 1999; SHASHOUA, 2008).

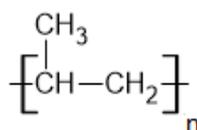


Figura 12: Estrutura do polipropileno
Fonte: Imagem da autora

Os policarbonatos (Figura 13) foram desenvolvidos a partir de 1953, de forma simultânea, porém independente, na Alemanha e nos Estados Unidos, e, em 1959, produzidos comercialmente sob o nome Macrolon. É um plástico transparente, de alta resistência a impactos, podendo aguentar temperaturas de até 150°C. Muito aplicado na indústria elétrica e de eletrônicos, foi utilizado para substituir o alumínio em eletrodomésticos no final da década de 1970. É globalmente conhecido pela sua utilização na fabricação de CDs e DVDs (BRYDSON, 1999; SHASHOUA, 2008).

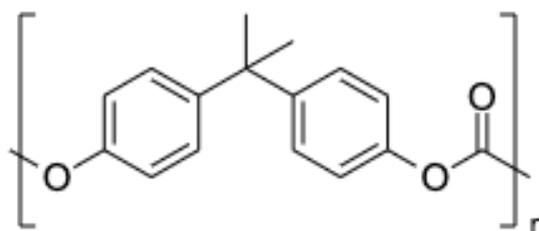


Figura 13: Estrutura do policarbonato
Fonte: Imagem da autora

Os novos plásticos desenvolvidos, a partir de 1970, são altamente especializados e formulados para aplicações de alta temperatura para a engenharia, como também para a medicina, não possuindo mais um caráter de uso genérico. Além disso, outra mudança que ocorreu na indústria foi em relação às matérias primas utilizadas. A princípio, essas eram principalmente de origem vegetal, como celulose, amendoim e óleos vegetais para produção de ácidos utilizados na fabricação de Nylon, além de cana de açúcar com etanol e etileno, para a produção de polietileno. Ainda, até meados da década de 1950, a principal fonte de matérias-primas na indústria de plásticos na Europa era a destilação destrutiva do carvão, principalmente na Alemanha (SHASHOUA, 2008).

Com a eclosão da Segunda Guerra Mundial, a indústria petroquímica passou a fornecer monômeros para a síntese de polímeros, como o estireno e o butadieno, com aumento crescente até a década de 1970. Já com a crise do petróleo, em 1973, e a descoberta de que as fontes de petróleo não são inesgotáveis, novas pesquisas têm sido desenvolvidas desde então, procurando fontes alternativas de matérias primas para a fabricação de plásticos (SHASHOUA, 2008).

1.3 – Propriedades Químicas

Como já anteriormente citado, materiais plásticos representam uma grande variedade de materiais que possuem como componente principal polímeros, podendo esses ser naturais, semi sintéticos ou sintéticos, além de aditivos químicos, utilizados para aprimorar suas habilidades mecânicas, buscando alcançar os mais diversos fins.

Esses polímeros, por serem macromoléculas, passam a adquirir características gerais próprias, que se tornam muito mais dominantes do que as que resultam da natureza química dos átomos, ou dos grupos funcionais presentes nas cadeias. O comprimento e a forma das ramificações apresentam grande importância; as ligações intramoleculares atuantes nas macromoléculas em estado sólido mostram-se muito mais resistentes do que em micromoléculas - moléculas de cadeia curta. Quando em solução, as ligações intramoleculares entre moléculas de alta massa molecular promovem um aumento de viscosidade, e a evaporação dos solventes presentes nas soluções viscosas decorre na formação de um filme, sendo essa uma das formas mais simples de se reconhecer uma macromolécula, visto que no caso de moléculas menores a evaporação do solvente resultaria em cristais ou pós (MANO; MENDES, 2004).

Dessa forma, por possuir diversas particularidades, moléculas poliméricas podem ser classificadas de várias formas essenciais para sua compreensão, tanto em relação ao seu processo de polimerização, sua organização estrutural, e seu comportamento com o meio externo.

1.3.1 – Processos de formação dos polímeros: polimerização

O processo de polimerização de um polímero sintético ocorre quando diversas reações químicas se dão entre inúmeras unidades moleculares, os monômeros, formando ligações covalentes, para compor as macromoléculas, com alta massa molecular. Nesse processo, existem fatores variáveis que influenciam no polímero resultante, como tipo de reação, mecanismo de reação, pressão e temperatura, velocidade de crescimento da cadeia, formação de subprodutos micromoleculares, além do uso de catalisadores e inibidores. Existem dois tipos principais de reação num processo de polimerização: a polimerização por adição, cujo método é a reação em cadeia, e a polimerização por condensação, cujo método é a polimerização em etapas (BRAUN et al., 2013; CANEVAROLO JR, 2006; MANO, MENDES, 2004).

A polimerização por adição, ou, reação em cadeia, ocorre pela formação de uma cadeia polimérica a partir da desestabilização de uma ligação dupla, ou tripla, presente em um monômero, por radiação eletromagnética ou agente químico, o que

gera radicais livres e, conseqüentemente, sucessíveis reações com as outras insaturações das moléculas de monômeros presentes, formando ligações covalentes. A reação em cadeia ocorre em três etapas: a iniciação, quando é gerado o centro ativo ou centro radicalar do processo; a propagação, na qual a cadeia cresce a partir da transferência do centro ativo de monômero a monômero; e o término, que pode acontecer com o fim irreversível do centro ativo, ou, com a transferência do mesmo para gerar outras cadeias. Polímeros de adição em geral costumam ser constituídos por cadeias carbônicas, como é o caso do polipropileno (Figura 14), porém, quando, em um monômero, a ligação dupla ocorre entre um átomo de carbono com outro heteroátomo, a cadeia polimérica gerada passa a ser heterogênea. (BRAUN et al., 2013; CANEVAROLO JR, 2006; MANO, MENDES, 2004).



Figura 14: Polimerização por adição do polipropileno
Fonte: Imagem da autora

A polimerização por condensação, ou etapas, ocorre a partir de processos sucessivos de condensação entre grupos bifuncionais existentes nos monômeros utilizados, aumentando o tamanho das moléculas, até se atingir o tamanho de uma cadeia polimérica. Dessa forma, o processo de polimerização por condensação costuma resultar em copolímeros. Durante as reações, são eliminadas moléculas de baixa massa molar, na forma de subprodutos, como no caso da polimerização do politereftalato de etileno (PET), que tem como subproduto a água (Figura 15). Como os grupos funcionais presentes no processo são reativos, não há necessidade do uso de iniciadores. A presença de catalisadores, ou o aumento da temperatura também podem influenciar na aceleração das reações, uma vez que o catalisador diminui a energia de ativação e a temperatura influencia diretamente na constante de velocidade. Da mesma forma, a diminuição da temperatura pode acarretar o fim da reação, como também a adição de reagentes monofuncionais, que irão reagir apenas com uma ponta da cadeia, tornando-a, assim, não mais reativa. Se adicionados reagentes o suficiente para todas as pontas da cadeia, não haverá mais

funcionalidade para permitir o crescimento da mesma (CANEVAROLO JR, 2006; MANO, MENDES, 2004).

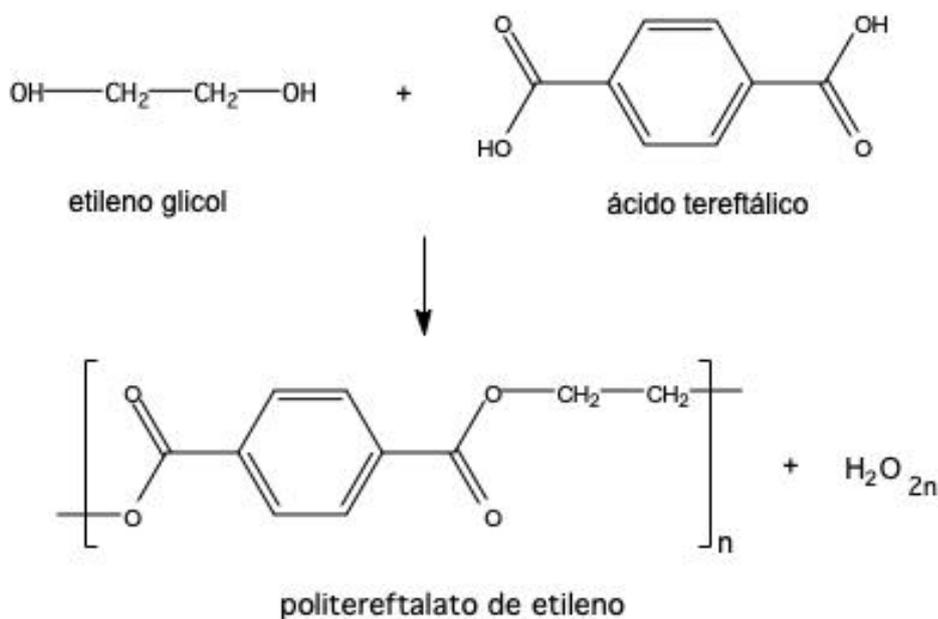


Figura 15: Polimerização por condensação do politereftalato de etileno
Fonte: Imagem da autora.

1.3.2 – Homopolímeros e copolímeros

Quando em um polímero só existe um monômero sendo repetido para a formação da cadeia, ele é chamado de homopolímero, como é o caso do polietileno, poliestireno, polipropileno, PVC, entre outros. Já no caso de a cadeia ser formada pela repetição de dois ou mais monômeros diferentes, dá-se o nome de copolímero. É importante ressaltar que um copolímero não é a mistura de dois polímeros prontos, mas sim um composto químico que pode apresentar características distintas dos monômeros presentes. Por exemplo, a borracha de estireno-butadieno (SBR, do inglês “Styrene-Butadiene Rubber”) tem comportamento diferente dos polímeros poliestireno e polibutadieno, e suas atribuições podem variar dependendo da proporção de monômeros de estireno e de butadieno presentes na macromolécula. Em relação às cadeias copoliméricas, elas podem se apresentar em quatro organizações diferentes (Figura 16): ao acaso, aleatório, randômico ou estatístico, nos casos onde não existe padrão em relação à disposição dos monômeros; alternada, quando existe alteração padronizada entre os monômeros; em blocos, ou blocada, quando na cadeia existem sequências, ou blocos, de um

mesmo monômero, alternando com sequências de outro monômero; e por fim, grafitizada ou enxertada, quando sobre uma cadeia formada por um único monômero é ligada covalentemente outra cadeia, de outro monômero (CANEVAROLO JR, 2006; HARPER, PETRIE, 2003).

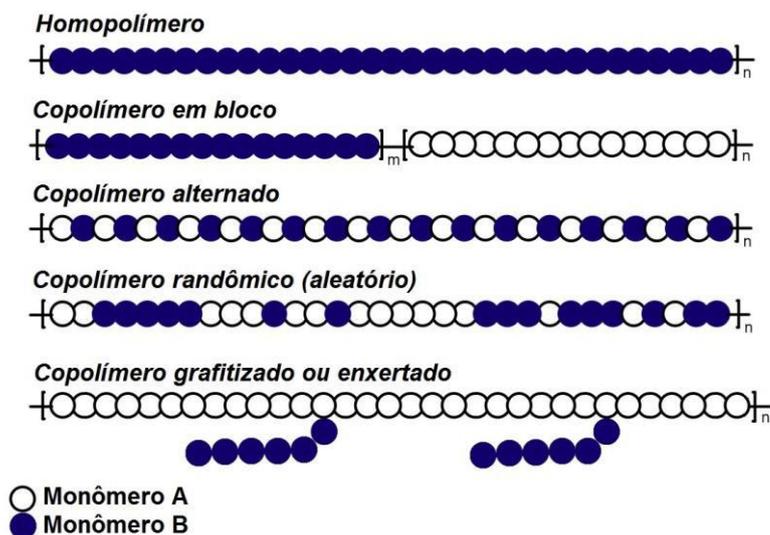


Figura 16: Exemplos de organização dos monômeros em copolímeros.

Fonte: <https://www.tudosobreplasticos.com/polimerizacao/plastpol.asp>

1.3.3 – Estrutura e tipos de cadeia polimérica

Em relação à disposição espacial em que uma cadeia polimérica se apresenta, elas podem ser estruturas amorfas ou semicristalinas (Figura 17). Nas estruturas amorfas as moléculas estão dispostas de forma desordenada, sem qualquer padrão. Já estruturas semicristalinas apresentam uma ordenação tridimensional das moléculas, com repetições regular dos grupos atômicos (CANEVAROLO JR, 2006; MANO, MENDES, 2004)

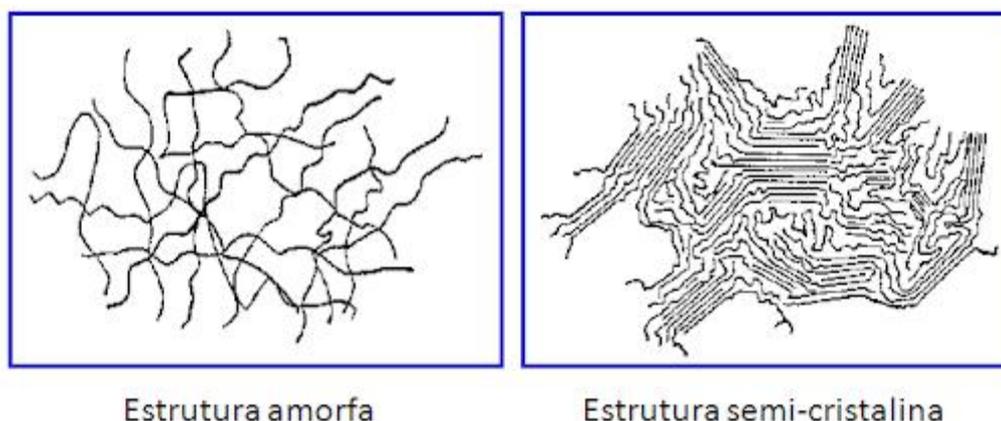


Figura 17: Representação de estruturas poliméricas amorfas e semi-cristalinas.

Fonte: <https://tudosobrepolimeros.webnode.pt/materiais-plasticos/>

Já em relação à estrutura das moléculas poliméricas, elas podem se apresentar em três arquiteturas diferentes: em cadeia linear, cadeia com ramificação e cadeia com ligação cruzada (CANEVAROLO JR, 2006; MANO, MENDES, 2004; RAVVE, 2012; SHASHOUA, 2008).

Polímeros de cadeias lineares (Figura 18) apresentam apenas uma cadeia principal, com disposição em zigue-zague. Apenas cadeias lineares, e algumas cadeias ligeiramente ramificadas, conseguem se organizar em estrutura cristalina. Cadeias com estrutura irregular se apresentam na forma amorfa (CANEVAROLO JR, 2006; MANO, MENDES, 2004; SHASHOUA, 2008).

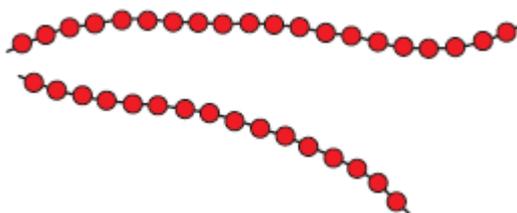


Figura 18: Modelo de cadeia linear.

Fonte: SHASHOUA, Yvonne. Conservation of plastics. 1st edition. Oxford: Butterworth Heinemann, 2008

Polímeros de cadeias ramificadas (Figura 19) apresentam prolongamentos - ou, ramificações - saindo da cadeia principal, que podem ser curtas ou longas, podendo ser formadas pelo mesmo monômero, ou por outro, no caso dos copolímeros. São formados por meio de polimerização por condensação, como resultado de reações “secundárias” que ocorrem fora das pontas da cadeia. Estruturas ramificadas podem se apresentar em arquitetura aleatória, quando não existe padrão entre os tamanhos e distância entre as ramificações; arquitetura estrelada, quando a cadeia é formada por vários “braços” que saem de um mesmo ponto, podendo o número ser de 4 até 32 ramificações; e, arquitetura pente, quando as ramificações possuem tamanho fixo e são distribuídas de forma homogênea por toda cadeia principal (CANEVAROLO JR, 2006; MANO, MENDES, 2004; RAVVE, 2012; SHASHOUA, 2008).

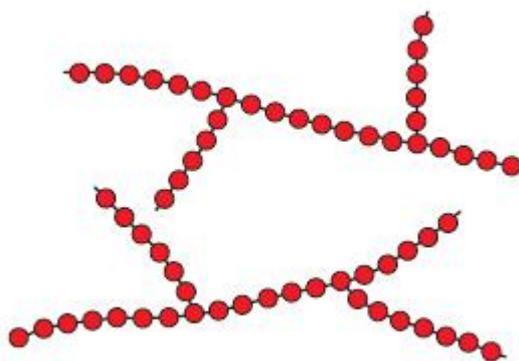


Figura 19: Modelo de cadeia ramificada

Fonte: SHASHOUA, Yvonne. Conservation of plastics. 1st edition. Oxford: Butterworth Heinemann, 2008

Polímeros de cadeia com ligação cruzada (Figura 20) apresentam cadeias principais conectadas entre si por meio de segmentos que se ligam a partir de fortes interações covalentes, assim, também passam a ser chamados de polímeros reticulados. Essas ligações deixam as cadeias presas umas às outras, impedindo seu livre movimento, o que interfere nas propriedades mecânicas da estrutura. Alguns polímeros possuem baixa quantidade de ligações cruzadas, como no caso da borracha vulcanizada, o que permite uma leve deformação do material, para em seguida retornar a sua forma original. Já polímeros com alto número de ligações cruzadas, como no caso de resinas epóxi e do fenol-formaldeído, a estrutura é extremamente rígida e não deformável (CANEVAROLO JR, 2006; MANO, MENDES, 2004; SHASHOUA, 2008).

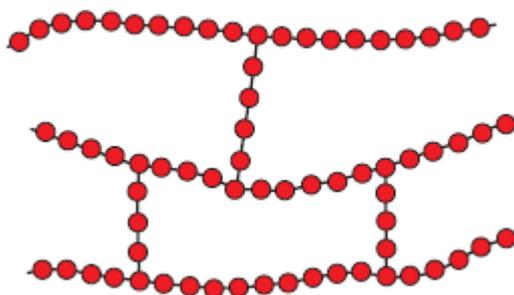


Figura 20: Modelo de cadeia com ligação cruzada

Fonte: SHASHOUA, Yvonne. Conservation of plastics. 1st edition. Oxford: Butterworth Heinemann, 2008

1.3.4 – Comportamento mecânico e fusibilidade de polímeros

Em relação ao comportamento mecânico, os polímeros podem ser classificados como borrachas ou elastômeros, plásticos e fibras. Elastômeros são os polímeros que, à temperatura ambiente, possuem capacidade de retornar rápida e aproximadamente às suas dimensões originais após sofrer deformação por tensão fraca, e a conseguinte liberação dessa tensão. Essa capacidade de deformação e retorno se dá ao baixo número de ligações cruzadas presentes entre as moléculas poliméricas. São elastômeros as borrachas processáveis por fusão, termoplásticos vulcanizados, borrachas sintéticas (como o polineopreno, borrachas de silicone, entre outros) e a borracha natural (CANEVAROLO JR, 2006; HARPER; PETRIE, 2003).

Plásticos são materiais sólidos na temperatura de utilização, que costuma ser a ambiente ou um valor aproximado, sendo classificados entre os de comportamento termoplástico e termofixos. Termoplásticos são polímeros que possuem cadeias lineares, ou ramificadas, e que tem a capacidade de amolecer ou derreter com aplicação e aumento de calor, e voltar a endurecer e atribuir forma rígida ou sólida quando resfriados e moldados sobre pressão. Dessa forma, termoplásticos podem ser aquecidos e resfriados continuamente, mantendo a capacidade de solidificar sem degradação do material. Já os termofixos (também chamados de termorrígidos) são polímeros que foram submetidos a uma reação química pela ação do calor, catalisadores, radiação UV, entre outros, que os fizeram atingir um estado infusível, característica que se dá pelos polímeros serem formados por cadeias com ligações cruzadas (CANEVAROLO JR, 2006; HARPER; PETRIE, 2003).

As fibras são classificadas como termoplásticos orientados, possuindo um sentido longitudinal definido como eixo principal. Tal orientação de cadeias e cristais é feita de forma forçada durante o processo de fiação, e resulta em um aumento de resistência mecânica, possibilitando seu uso na forma de fios finos, como os poliésteres e poliamidas (CANEVAROLO JR, 2006).

1.3.5 – Temperaturas de transição

Em relação ao comportamento dos polímeros de acordo com a temperatura do ambiente onde se encontram, existem dois pontos principais de transição que marcam mudanças de aparência, estrutura, movimentação e tamanho, cujo valor varia de polímero a polímero. No caso dos polímeros semicristalinos, ao alcançar determinada temperatura, as regiões cristalinas da estrutura polimérica começam a sair do estado sólido, alcançando estado de fusão até atingir forma de uma substância líquida, pois, com o calor, as ligações químicas passam a vibrar com maior amplitude, movimentando assim toda a cadeia polimérica, o que gera força o suficiente para quebrar ligações secundárias. O ponto de temperatura na qual esse processo começa a ocorrer é conhecido como transição de primeira ordem, demarcada como temperatura de fusão (T_f) ou temperatura de derretimento (do inglês “*melt temperature*” (T_m)) (CANEVAROLO JR, 2006; RAVVE, 2012; SHASHOUA, 2008)

Já polímeros com regiões amorfas em sua estrutura não atingem estado de fusão quando aquecidos, ou seja, não há a transição do estado sólido para o estado líquido, o que há é a passagem de um estado rígido, chamado estado vítreo (em inglês “*glassy state*”) para um estado flexível ou elastomérico. A temperatura que marca esse ponto de transição é chamada de temperatura de transição vítrea (*glass transition temperature*), também denominada transição de segunda ordem, e é demarcada como T_g . Esses polímeros, quando estão no estado flexível, ao serem resfriados a uma determinada temperatura, perdem movimentação e flexibilidade, retornando ao estado vítreo (CANEVAROLO JR, 2006; RAVVE, 2012; SHASHOUA, 2008).

Abaixo da T_g , os polímeros diminuem de volume, alteram a capacidade de condução termal, índice de refração, perdem flexibilidade, com as cadeias ficando imobilizados, conferindo rigidez e propriedades semelhantes às do vidro. Acima da T_g , as cadeias dos polímeros passam a se movimentar mais, o que requer espaço, aumentando então seu volume, além de tornarem-se elásticos e flexíveis (CANEVAROLO JR, 2006; RAVVE, 2012; SHASHOUA, 2008).

Como os polímeros apresentam tanto regiões amorfas quanto cristalinas, variando a proporção de uma pra outra, eles apresentarão ambos valores de T_g e T_m , respectivamente, como pode ser observado no Quadro 2.

Temperaturas de Fusão e Transição Vítrea aproximadas de polímeros		
Polímero	Temperatura de transição vítrea T_g (°C)	Temperatura de fusão T_m (°C)
Polietileno	-120	137
Polipropileno	-15	176
Nylon 6	50	215
Policloreto de vinila - não plastificado	80	90
Poliestireno	100	240
Polimetil metacrilato	100	160
Triacetato de celulose	107	300

Quadro 2: Temperaturas de fusão e transição vítrea aproximadas de polímeros.

Fonte: SHASHOUA, Yvonne. Conservation of plastics. 1st edition. Oxford: Butterworth Heinemann, 2008. Tradução da autora.

Com relação à conservação de obras de arte e objetos em geral que contenham plástico na composição, é ideal que os que possuam polímeros termoplásticos fiquem em ambientes com temperatura abaixo da T_g , para evitar amolecimentos, esticamentos e deformações, e que elastômeros (borrachas) fiquem em ambientes com temperaturas acima da T_g , já que, quando abaixo, eles se tornam rígidos e quebradiços (FRANÇA, 2010).

1.4 – Produção de plásticos

As moléculas poliméricas são o principal componente no processamento de plásticos, apesar de não ser o único. Além dos polímeros, também se faz necessário o acréscimo de diversos aditivos químicos que visam aprimorar as propriedades mecânicas e químicas dos produtos, buscando atingir diversos resultados, a depender do uso que se dará ao produto final. Ainda, os polímeros são submetidos a

variados processamentos que darão a eles forma, podendo ser transformados em hastes, fibras, filmes, entre outros (BRYDSON, 1999).

1.4.1 – Aditivos químicos

Na produção de plásticos, além dos polímeros, também é necessário a adição de diversos aditivos químicos que aprimoram suas capacidades física e químicas, além de aumentar sua longevidade. Um bom exemplo é o policloreto de vinila (PVC) em seu estado bruto, um polímero frágil e não flexível, com quase nenhuma aplicação comercial útil. Já com a adição de plastificantes em quantidades variadas, é possível utilizar o material para produzir roupas, brinquedos flexíveis, cabos de isolamento e solas de sapato. Em geral, os requisitos necessários para um aditivo poder ser aplicado na formulação de um plástico são: estabilidade na temperatura e pressão de processamento; estabilidade no uso final do plástico; habilidade de permanecer na formulação durante o tempo de vida útil do plástico, sem migrar, ou evaporar; baixa toxicidade e odor e gosto inertes, principalmente nos plásticos utilizados em alimentos e na medicina; e baixo custo (BRYDSON, 1999; SHASHOUA, 2008).

Dentre os tipos de aditivos existentes podemos citar: os plastificantes, utilizados para conferir maciez, flexibilidade e extensibilidade para polímeros rígidos, além de diminuir a viscosidade, agindo também como lubrificante; as cargas, sólidos utilizados para modificar propriedades físicas, como resistência a tração, compressão e abrasão, estabilidade dimensional e térmica, além de também conferir cor, podendo ser fibrosas ou particulares, como fibras de vidro e tecido, e alguns compostos químicos, como carbonato de cálcio (CaCO_3) e o sulfato de bário (BaSO_4); os lubrificantes, que reduzem a viscosidade dos polímeros e diminuem a adesão entre as paredes metálicas dos locais de processamento e os polímeros na forma líquida e quente; absorvedores de impacto, que absorvem a energia gerada por um impacto e a dissipam de forma não destrutiva; agentes de expansão, que produzem uma estrutura de espuma, na qual a matriz polimérica possui células preenchidas com gás; dentre diversos outros, como aditivos anti-envelhecimento, que englobam anti-oxidantes, absorventes e estabilizadores de radiação UV e de calor (BRYDSON, 1999; SHASHOUA, 2008).

1.4.2 – Processos de moldagem

O processo de moldagem de plásticos é considerado um processo de conversão, pois modifica os plásticos em forma líquida e fluida em uma forma pré-determinada. Nesses processos, os plásticos podem ser convertidos em filmes, folhas, formas tri-dimensionais sólidas e ocas, além de espumas e fibras. Dentre os processos de moldagem podemos citar: a calendragem (Figura 21a), um método utilizado para a produção de filmes, no qual termoplásticos aquecidos são passados entre rolos de metal, com temperatura controlada, que vão gradativamente diminuindo o intervalo entre si até formar um filme fino e contínuo. Esse método é utilizado para fabricação de cortinas de banho, plástico-filme, filmes de proteção e afins; a moldagem por injeção (Figura 21b) - atualmente o método mais utilizado no processamento de plásticos -, na qual grânulos de plástico, ou *pellets*, são aquecidos em um cilindro até atingir viscosidade baixa o suficiente para então serem injetados sob pressão em um molde resfriado a água. Esse método é utilizado na produção de CDs, DVDs componentes automobilísticos entre outros; a extrusão (Figura 21c), método desenvolvido ainda no século XIX, que ocorre sob alta pressão, no qual os plásticos são submetidos a uma matriz moldada para produzir formas simétricas, e de espessura uniforme, continuamente, como tubos, fibras e filmes (BRYDSON, 1999; SHASHOUA, 2008).

Na moldagem a sopro (Figura 21d) um termoplástico aquecido já pré-moldado, geralmente pelo processo de extrusão, é inflado com gás comprimido dentro de um molde resfriado, método usado na produção de garrafas de plástico, tanques de combustíveis e outros tipos de compartimentos; a termoformação (Figura 21e), método no qual calor e pressão são aplicados a chapas de plástico que são colocadas sobre moldes para se adaptarem a sua forma, onde essa pressão pode ser feita com ar, compressão ou a vácuo, um método barato e eficiente, com um ciclo de produção com menos de 2 segundos de duração, utilizado na fabricação de embalagens em geral; e a compressão (figura 21f), na qual polímeros em pó, ou em *pellets*, são misturados com aditivos e introduzidos em um molde de aço endurecido e lubrificado, que então é fechado fazendo o plástico assumir sua forma e dimensões, sendo um método que leva mais tempo que a moldagem por injeção, tornando-o então mais caro (BRYDSON, 1999; SHASHOUA, 2008).

Ainda, existem os métodos de moldagem por rotação, ou, rotomoldagem, no qual plásticos moídos a uma finura muito pequena são aquecidos e colocados em moldes ocos, e com o movimento de rotação, a força centrífuga faz com que o plástico fundido se deposite nas paredes internas do molde, onde resfriam até endurecer; e a moldagem por imersão, método utilizado para fabricação de formas flexíveis com paredes muito finas. Nele, uma forma de metal com as dimensões idênticas ao produto final é aquecida à temperatura de processamento de filmes, e, então, inserida em um banho de pasta plástica, ou pó fluidizado, sendo removida para que o excesso de material goteje. Por fim, o filme é resfriado e retirado da forma. O método é usado na produção de balões de festa e luvas de proteção (BRYDSON, 1999; SHASHOUA, 2008).

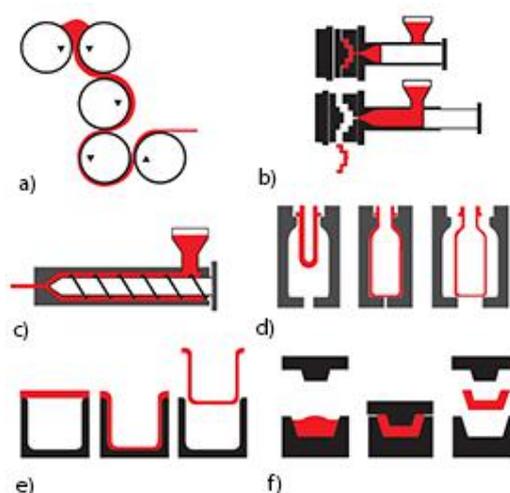


Figura 21: Esquemas de moldagem de plástico: a) calendragem, b) injeção, c) extrusão, d) moldagem a sopro, e) termoformação, f) compressão.
 Fonte: SHASHOUA, Yvonne. Conservation of plastics. 1st edition. Oxford: Butterworth Heinemann, 2008. Montagem da autora.

Neste capítulo foi tratada a presença dos plásticos na indústria e na sociedade, assim como sua história de experimentos e fabricação, propriedades químicas e processos de produção. No próximo capítulo, será analisada a presença de plásticos na história da arte, desde o começo do século XX até os dias atuais, e como se caracterizam plásticos em coleções e acervos museológicos.

CAPÍTULO 2 - PLÁSTICOS NA ARTE E CULTURA

2.1 – História da arte

Para Roukes (apud MARIANO, 2012), os pioneiros na experimentação com plásticos em seus trabalhos artísticos foram os irmãos Naum Gabo e Antoine Pevsner, precursores do movimento do Construtivismo Russo. Os dois escreveram em conjunto o Manifesto Realista, onde defendiam a ideia de que as esculturas deveriam apresentar leveza e transparência, como oposição à monumentalidade e rigidez presentes nas obras feitas desde a antiguidade.

Nós renunciamos na escultura a massa como elemento escultórico. É conhecido por qualquer engenheiro que as forças estáticas de um corpo sólido e sua força material independem da quantidade de massa, por exemplo, um trilho ou uma viga.
(BANN, Stephen (org). The Tradition of Constructivism, New York: The Viking Press, 1974)

A vanguarda do Construtivismo sofreu influência do movimento Cubista, tendo o artista russo Vladimir Tatlin em direto contato com as produções cubistas de assemblage de Pablo Picasso, o que é visualizado em algumas de suas pinturas, com formas não figurativas, cores e texturas que eram removidas da superfície da tela. Contudo, o que separava os dois movimentos era a relação direta de referência à natureza do Cubismo, e o total abandono de representação, buscando a produção de formas absolutas do Construtivismo. Assim, Tatlin concebeu uma cultura de materiais, prevalecendo a materialidade à representação. Em contrapartida, Naum Gabo e Antoine Pevsner trabalharam a modificação do espaço em si. Enquanto Tatlin exaltava os materiais em um espaço real, Gabo e Pevsner acreditavam que o espaço era o próprio material a ser trabalhado, produzindo assim formas com volumes abertos a ser penetrados por ele, e, em virtude dessas diferenças teóricas, os dois irmãos conceberam o Manifesto Realista (RADFORD, 2017).

Para conseguir alcançar os conceitos definidos no Manifesto, a utilização de plásticos foi fundamental em seus trabalhos (Figura 22), já que o material apresentava maleabilidade e transparência. O uso de plásticos como material essencial nos trabalhos de Gabo, principalmente, marca uma nova era tecnológica tanto nas artes quanto na sociedade, e também serviu como ênfase na imaterialidade das obras de arte que defendiam, a contraposto da singularidade material proposta por Tatlin (RADFORD, 2017).



Figura 22: À esquerda: Model for “Construction in Space ‘Two Cones’”, 1927, celulóide. Naum Gabo.
 Fonte: <https://www.tate.org.uk/art/artworks/gabo-model-for-construction-in-space-two-cones-t02169>

À direita: Head, circa 1923-24, celulóide. Antoine Pevsner.
 Fonte: <https://www.tate.org.uk/art/artworks/pevsner-head-t02241>

Mariano (2012) aponta que no website da Tate Gallery, em Londres, onde estão catalogados mais de 100 trabalhos de Gabo e Pevsner, os termos empregados na categorização dos materiais utilizados de suas obras são acetato de celulose, nitrato de celulose, náilon, celulóide, acrílico e o genérico “plástico”.

Tendo sido influenciado pelo movimento construtivista, o húngaro Laszlo Moholy-Nagy explorou intensivamente a fotografia em suas obras. Observou que o fotograma era a criação das relações óticas elementares, o que conversava diretamente com a pintura construtivista, enquanto a fotografia em si era a representação simbólica de formas. Colocou o fotógrafo na posição de artista, trabalhando com a transfiguração artística de objetos insignificantes, e ultrapassando os cubistas em sua “limitada capacidade” de romper com a superfície das telas com pinceladas, a partir de análises estruturais nos fotogramas (MOHOLY-NAGY, 1950).

Enquanto alguns artistas utilizavam da fotografia de forma tradicional para fazer registro de suas obras, Moholy-Nagy seguindo o caminho contrário pintava seus experimentos fotográficos, o que pode ser observado em diversas de suas telas de 1922 (Figura 23). As imagens criadas assumiam caráter fotográfico, em composições com sobreposição de planos, ativação da luz e falta de textura (MOHOLY-NAGY, 1950).

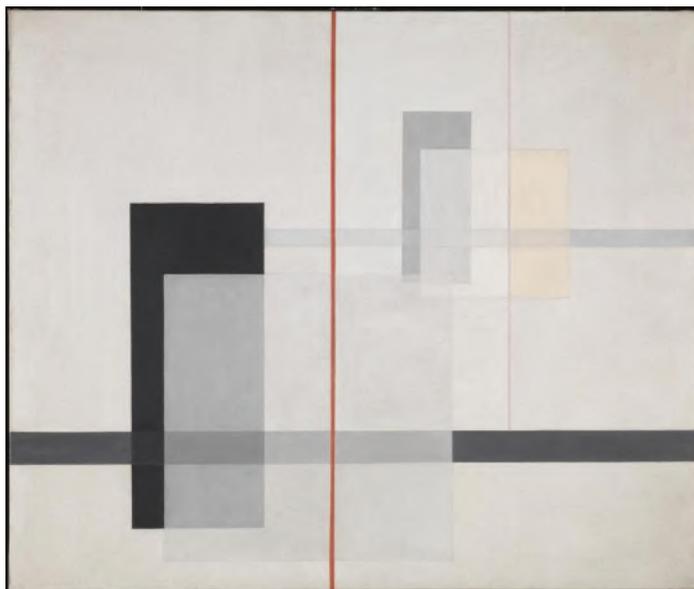


Figura 23: K VII, 1922, óleo e grafite sobre tela. Laszlo Moholy-Nagy.
 Fonte: <https://www.tate.org.uk/art/artworks/moholy-nagy-k-vii-t00432>

Além de sua pesquisa em relação ao poder inerente da luz de dar forma, Moholy-Nagy também se encantou com a possibilidade de novas técnicas e materiais, procurando reconciliar arte e humanidade com as novas máquinas da era tecnológica (FIEDLER, 2001). Sibyl Moholy-Nagy, que foi casada com Laszlo, em seu livro “Moholy-Nagy: Experiment in Totality”, de 1950, comenta:

A fantástica tecnologia da cidade utópica do futuro, assim Moholy sonhava, eliminaria a forma sólida. As casas não eram mais obstáculos, mas receptáculos da força natural da vida do homem, a luz. Não havia paredes, mas esqueletos de aço blindados com folhas de vidro e plástico. O acento estava na perfuração e no contorno, uma indicação de uma nova realidade ao invés da própria realidade.

(MOHOLY-NAGY, Sibyl. Moholy-Nagy: Experiment in Totality, Estados Unidos: Harper & Brothers, 1950; tradução da autora.)

Assim, Laszlo Moholy-Nagy chegou a renegar a pintura tradicional em seus estudos por quase uma década, considerando-a um meio tecnicamente limitado. Foi durante essa época que tentou demonstrar sua visão de que trabalhos manuais já haviam atingido o fim de sua vida útil, tornando-se obsoletos em face às novas manufaturas industriais e processos de design. Em seu livro “Vision in Motion”, lançado postumamente, em 1947, ele comenta “novas ferramentas e tecnologias dão ascensão à mudanças sociais”. Em seus trabalhos (Figura 24), tanto em obras escultóricas, quanto em composições pensadas para o registro fotográfico, fez uso de Rhodoid (acetato de celulose), Plexiglass (acrílico) e Celluloid (nitrato de celulose). Laszlo Moholy-Nagy lecionou na escola alemã Bauhaus, a convite de seu

fundador, Walter Gropius, tendo sido o mais novo professor da instituição (FIEDLER, 2001; MOLDERINGS, 1998).



Figura 24: Study with pins and ribbons (vivex process), 1938, alfinetes e filme de celulóide pigmentada, Laszlo Moholy-Nagy.

Fonte: http://www.all-art.org/art_20th_century/moholy-nagy1.html

Durante meados do século XX, existiram dois movimentos artísticos, temporalmente simultâneos, em que houve grande expressão do uso de plásticos nas obras de arte por seus membros. Foram eles a Pop Art e o Novo Realismo francês.

A *Pop Art* surge um pouco antes do Novo Realismo, em meados da década de 1950. Foi assim chamada pela primeira vez pelo crítico britânico Lawrence Alloway, em 1954, como um nome adequado para definir a “arte popular” que vinha sendo criada a partir da cultura de massa, ampliando o termo em 1962, para incluir os artistas que estavam utilizando imagens populares dentro das belas artes. No movimento nunca houve um estilo de expressão artística singular, e seus participantes renegavam categorias. Diferente de seu antecessor artístico, o Expressionismo Abstrato, onde os artistas buscavam encontrar alguma marca única que pudesse ser imediatamente identificada em seus trabalhos, os artistas da Pop Art acreditavam que chegar a um estilo próprio só serviria para limitar sua capacidade criativa, levando à repetição e monotonia. Andy Warhol, que tinha como objetivo eliminar o estilo como um todo, por

considerá-lo desimportante, declarou já ter assinado algumas obras com um carimbo de borracha, já que a própria assinatura também delimita estilo. Warhol também desejava acabar com a idéia de obra de arte manual, assim, grande número de suas criações foram baseadas em fotografias (Figura 25) transferidas para telas a partir de stencils (GALENSON, 2017; LUCIE-SMITH, 1991).



Figura 25: Self-Portrait, 1966, tinta de serigrafia sobre tinta de polímero sintético sobre tela, Andy Warhol.

Fonte: https://www.moma.org/collection/works/79889?sov_referrer=artist&artist_id=0&page=3

No website do Museum of Modern Art (MoMA), em Nova York, onde estão catalogadas mais de 200 obras de Andy Warhol, as técnicas utilizadas em suas telas foram classificadas como tinta acrílica, tinta de serigrafia e tinta de polímero sintético, que como visto no capítulo anterior, podem ser consideradas tintas plásticas, devido à sua natureza de polímeros sintéticos com aditivos.

Claes Oldenburg, outro artista da *Pop Art*, focou principalmente em peças escultóricas em seu trabalho. Partia de objetos cotidianos (Figura 26), transformando sua função e significado por meio de ampliações e modificações de sua essência material (OSTERWOLD, 2007). Em suas obras com plástico fez uso principalmente do vinil (policloreto de vinila) para modificar a estrutura das representações.



Figura 26: À esquerda: Giant BLT (Bacon, Lettuce and Tomato Sandwich), 1966, vinil, fibra de kapok e madeira pintada com tinta acrílica, Claes Oldenburg.

Fonte: <https://www.moma.org/audio/playlist/270/3517>

À direita: Soft Pay-Telephone, 1963, vinil preenchido com fibra de kapok, montado em painel de madeira pintada, Claes Oldenburg.

Fonte: <https://www.guggenheim.org/artwork/3319>

O movimento do Novo Realismo francês foi oficialmente criado em 1960, mediante um documento-manifesto que dizia “Os novos realistas se conscientizaram de sua singularidade coletiva. Novo realismo = novas abordagens perceptivas do real. Assinado: Arman, Dufrêne, Hains, Klein, Raysse, Restany, Spoerri, Tinguely e Villeglé”. Um pouco mais a frente atraiu outros artistas como César, Gérard Deschamps, Mimmo Rotella, Niki de Saint-Phalle e Christo. Partindo dos ideais do movimento dadaísta de “anti arte”, os artistas do Novo Realismo compartilhavam o pensamento de que os meios tradicionais de arte passavam por uma crise, e principalmente a pintura abstrata chegara a um esgotamento. Buscavam se desvincular de uma estética modernista e clamavam por uma expressividade que estivesse de acordo com a realidade sócio-cultural da época, marcada pela hegemonia estadunidense do pós-guerra, novas máquinas, cultura de massa, publicidade e tecnologia, que modificavam o ambiente da vida cotidiana. Assim, abraçaram as possibilidades de novos materiais que eram próprios à sociabilidade cotidiana. Reconheciam no ready-made, original do Dadaísmo, uma apropriação da realidade exterior, sendo elemento base de um novo meio de expressividade (MACHADO; ZACARIAS, 2009).

O búlgaro Christo trabalhou principalmente com a chamada *land art*³, atuando nas cidades, enxergando as paisagens urbanas como cenários para intervenções, e não apenas fornecimento de materiais. Executa diversas vezes embalamentos com plásticos de monumentos, e até mesmo de grandes trechos de paisagem, recriando um novo olhar e estado de curiosidade em relação à vistas que até então haviam se tornado comuns e desinteressantes, também podendo fazer uma associação à “mania de envelopes” da sociedade de consumo, que mitiga e mistifica seus produtos (ARGAN, 1992).

Pierre Restany, em seu livro *Os Novos Realistas*, comenta um dos trabalhos realizados por Christo (Figura 27), quando, em 1969, embalou com tecido de fibra plástica toda a costa da praia de Little Bay, em Sidney, na Austrália.



Figura 27: Christo na execução de “Wrapped Coast”, em Little Bay, Sidney, Austrália, 1969.

Fonte: <https://christojeanneclaude.net/mobile/projects?p=wrapped-coast>

O francês César Baldaccini, que a princípio trabalhou com obras escultóricas de metal, produzindo diversos trabalhos chamados *Compressions*, passou a explorar as características do plástico poliuretano, criando uma série de obras que chamou de *Expansions* (Figura 28). Sem pré-determinar nenhum tipo de limitação, nem controlar o efeito do plástico, permitiu que o material se

³ “Arte de paisagem” em tradução livre.

expandisse e se transformasse de líquido para sólido de forma livre (RESTANY, 2011).



Figura 28: Expansion n° 14, 1970, espuma de poliuretano, César Baldaccini.

Fonte: <https://www.centrepompidou.fr/cpv/resource/cEboLxe/rGbxjxz>

O artista participou pela primeira vez da Bienal de Arte de São Paulo em 1959, apresentando suas esculturas em metal. Já na Bienal de 1967, a obra de César exposta, *Expansion Contrôlée*, em poliuretano, foi uma das que mais atraiu a atenção do público, tendo sido vendida por um dos valores mais altos pagos no evento. Também realizou uma “expansão” no Brasil, no mesmo ano, no Museu de Arte Moderna do Rio de Janeiro (MAM-RJ) na presença de Pierre Restany e o brasileiro Mário Pedrosa (DONATO, 1972; MAGALHÃES, 2015).

Em sua dissertação “Materiais Plásticos no Acervo da Pinacoteca do Estado de São Paulo: A Fonte das Nanás de Niki de Saint-Phalle”, de 2012, Camila Vitti Mariano realiza um aprofundado estudo e análise da obra “A Fonte das Nanás” feita em resina de poliéster, pela artista francesa Niki de Saint-Phalle, que, como comentado anteriormente, também passou a integrar o movimento do Novo Realismo, sendo assim, mais uma do grupo a fazer uso de plástico em suas obras.

No livro “O Mundo do Plástico”, de 1972, Mário Donato aponta que o paulista Marcello Nitsche pode ser considerado pioneiro dentre os artistas brasileiros a utilizar plásticos em seus trabalhos. Suas obras, tanto pinturas, como peças escultóricas, de forte temática Pop, apresentam plásticos como o

material mais utilizado, em diversas formas e aplicações. Em “Eu quero você” (Figura 29), de 1966, por exemplo, todos os materiais utilizados são poliméricos, sendo o algodão o único que não é plástico.

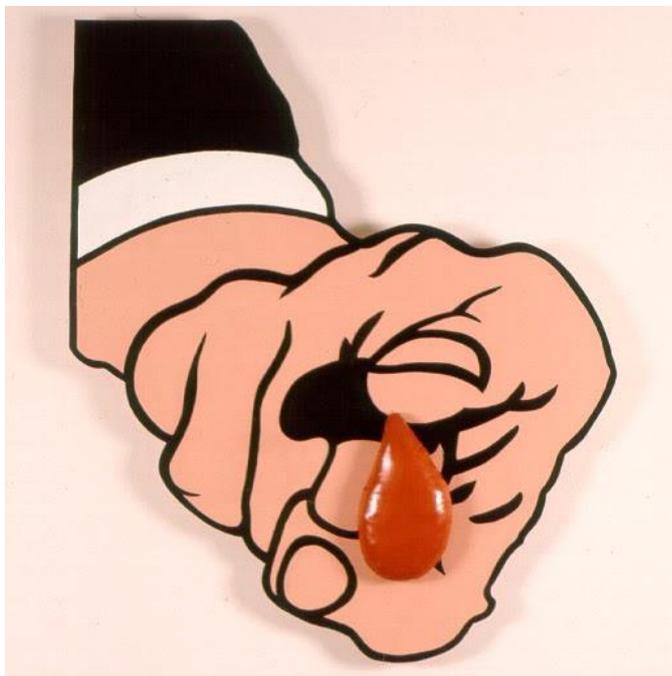


Figura 29: Eu quero você, 1966, plástico estofado de algodão e acrílica sobre PVC, Marcello Nitsche. Fonte: <https://mam.org.br/acervo/2000-370-nitsche-marcello/>

No website do MAM-RJ, onde estão catalogadas algumas obras de Nitsche, as técnicas listadas são acrílica, algodão, chapa galvanizada, esmalte sintético, eletroduto de polietileno, motor exaustor industrial, náilon resinado, plástico, PVC e Duco, nome comercial de uma linha de produtos para pintura automotiva, desenvolvida pela empresa DuPont em 1920, a base de nitrato de celulose, o que demonstra a escolha e preferência do artista pelos materiais plásticos, além de outros materiais até então “não convencionais” nas artes.

Também pioneiros no uso de plástico em suas obras no Brasil, mesmo que de forma não tão evidente quanto nos trabalhos de Nitsche, estão artistas do movimento artístico Neoconcreto.

O Neoconcreto inicia-se oficialmente em 1959, e tinha como ponto de partida uma tomada de posição crítica em relação ao caráter mecanicista da arte concreta, e a defesa de uma arte não figurativa, com uma linguagem geométrica (BRITO, 1999). Lygia Clark, participante do movimento, utilizou plástico em seus trabalhos em diversas formas, como aponta o site do MoMa, que lista como

técnicas da artista o uso de fórmica, folhas de nitrato de celulose e resina alquídica, um tipo de resina de poliéster, além de tintas industriais.

Hélio Oiticica, outro grande nome no movimento Neoconcreto, trabalhou com a experimentação ao longo de toda sua carreira, e também confrontou a posição de contemplação vinda do espectador, procurando criar uma nova relação da arte com seu público, modificando sua percepção a partir de relações sensoriais e corpóreas. Com isso, produziu os Parangolés (Figura 30), espécie de roupa-objetos, composto por camadas de capas de tecidos coloridos, tendas, bandeiras, estandartes, que também mesclavam elementos de poesia, fotografia, música, dança, pensados para serem vestidos, incorporados, explorados (TEIXEIRA, 2017).



Figura 30: Parangolé P1, Capa 1, 1964, tecido e plástico, Hélio Oiticica.
Fonte: <http://enciclopedia.itaucultural.org.br/obra66394/parangole-p1-capa-1>

A ação dos Parangolés demanda participação ativa do espectador, tirando-o da posição passiva da contemplação, já que necessita que este não apenas vista a roupa, mas também a incorpore pela dança e pela movimentação do corpo. Tal necessidade traz a mudança de caráter do espectador, que agora também faz parte da obra de arte. O corpo do participante que o veste não se resume apenas a um suporte, já que o Parangolé se trata da interação e incorporação da obra com o corpo. Tendo tido grande influência da relação que Oiticica criou com a escola de samba e favela da Mangueira, os Parangolés

foram levados a público pela primeira vez numa ação em 1965, na inauguração da exposição “Opinião 65”, no MAM-RJ, época em que só se podia entrar em museus trajando terno e gravata. Oiticica levou ao museu uma ala de passistas da Estação Primeira de Mangueira para apresentar os Parangolés em seus corpos, porém, foram barrados pela direção que não permitiu que adentrassem o prédio, realizando a ação então no jardim, aclamada pelo público e por críticos. Tal ação foi considerada de grande importância, por marcar o ápice da dessacralização e tentativa de democratização da obra de arte, unindo cultura popular e erudita, trazendo o samba para conquistar o espaço “sagrado” do museu, e fazendo o museu “descer” para a quadra da escola de samba (TEIXEIRA, 2017). Nos bólides (Figura 31), série de objetos produzidos por Hélio Oiticica ao longo de anos, também é possível identificar o uso de plásticos dentre os materiais escolhidos em algumas peças.



Figura 31: B33 Bólido Caixa 18 “Homenagem a Cara de Cavalo”, 1965-66, madeira, fotografia, náilon, acrílico, plástico e pigmento.

Fonte: <https://www.artsy.net/artwork/helio-oiticica-b-33-bolide-caixa-18-homenagem-a-cara-de-cavalo>

Algumas edições da Bienal de São Paulo entre as décadas de 1960 e 1970 contaram com presença marcante de plásticos utilizados nas obras de arte. Na edição de 1965, o italiano Alberto Burri expõe sua série *Combustioni Plastiche* (figura 32). Burri, que já havia participado de outras duas edições do evento, em 1955 e 1959, teve como marco em sua carreira a pesquisa e exploração de materiais não convencionais dentro da pintura (DONATO, 1972; OLIVEIRA, 2017).



Figura 32: Rosso plastica M 2, 1962, plástico (PVC e PE) e combustão sobre tecido preto, Alberto Burri.

Fonte: <http://exhibitions.guggenheim.org/burri/art/plastic-combustions/rosso-plastica-m-2-1962>

Na edição de 1955 Burri apresenta o que viriam a ser trabalhos de sua série Sacchi, onde utiliza sacos de anagem remendados e costurados; na edição de 1959 apresenta as séries *Sacchi*, *Ferri*, feita com aço laminado, e *Legni*, na qual o artista queima pedaços de madeira. Já na edição de 1965 a série Combustioni Plastiche foi a que mais chamou atenção, dentre as produções do artista, tendo a obra traduzida como “Grande Vermelho P R” (originalmente “*Grande Rosso P. N. 18*”), de 1964, reproduzida no catálogo do evento (Figura 33). A série Combustioni era composta por diversas chapas de plásticos que eram queimadas sobre uma tela. Burri participa pela última vez da Bienal de São Paulo na edição de 1979 (OLIVEIRA, 2017).

Na 9ª edição da Bienal de São Paulo, em 1967, foram expostas telas de Andy Warhol, com tintas plásticas, e o trabalho “*Expansion Contrôlée*”, de César Baldaccini, feito com poliuretano, comentado anteriormente neste capítulo. A edição de 1971 contou com obras como as do espanhol José Luis Alexanco, em PVC elástico e metacrilato, do colombiano Omar Rayo e do alemão Dieter Krieg com tintas acrílicas, e da italiana Carla Accardi, com pinturas feitas sobre Sicofoil, um plástico transparente (DONATO, 1972; BIENAL DE SÃO PAULO 1967, 1971).

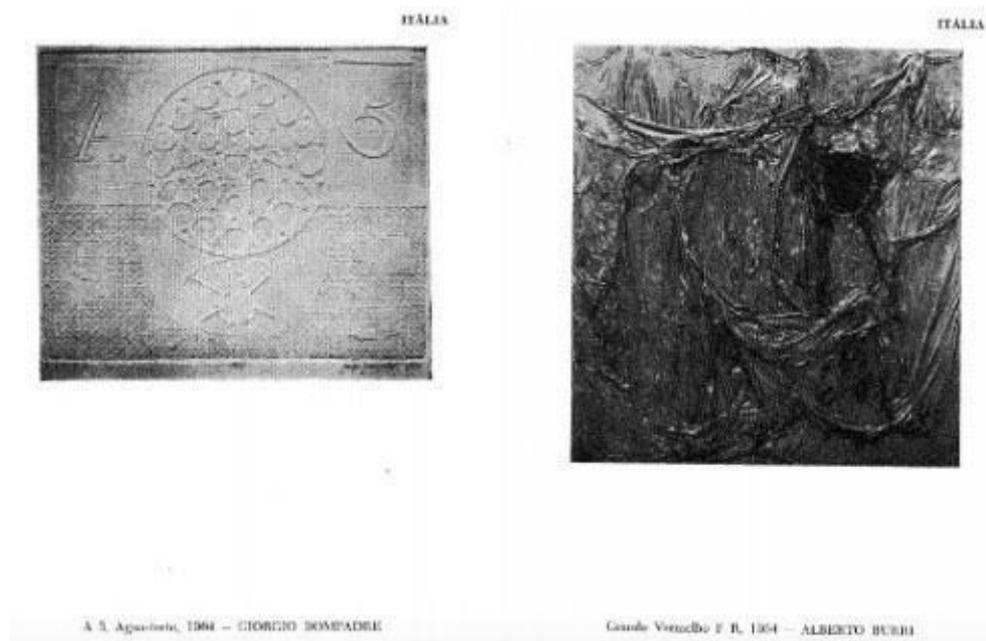


Figura 33: Páginas 560-561 do catálogo da 8ª edição da Bienal de São Paulo, de 1965, contendo destaque para a obra traduzida como “Grande Vermelho P R”, de 1964, à direita. Fonte: <https://issuu.com/bienal/docs/name6dc084>

Diversos artistas citados anteriormente, como Nitsche, Oiticica e outros, são considerados artistas contemporâneos, tanto cronologicamente, por terem passado a atuar a partir dos anos 1950, quanto pela nova forma de explorar e produzir dentro da arte, deixando de lado o tradicional e acadêmico, que era até então encontrado nas artes modernas e clássicas. Agnaldo Farias (apud Senko, 2013) comenta:

A arte contemporânea nasce como resposta ao esgotamento desse ensinamento da arte, com as modalidades canônicas - pintura e escultura - explorando-se, investigando-se suas naturezas até o avesso. Entre os índices - e são tantos! - desse esgotamento, figuram desde o retorno de questões e fórmulas antes vistas ultrapassadas - a pintura e a escultura figurativas, de conteúdo político, mitológico etc. - até o florescimento de expressões híbridas, quando não inteiramente novas, como as obras que oscilam entre a pintura e a escultura, os happenings e as performances; as obras que exigiam a participação do público; as instalações; a arte ambiental etc.

(SENKO, Elaine. Vik Muniz (1961-): a percepção íntima da arte através de Andy Warhol (1928-1987). **Revista Vernáculo**, Curitiba, nº. 31, p.129-146, 2013.)

Desse modo, com essa nova forma de pensar e investigar a arte, os artistas começaram a buscar novos meios de expressão, o que passou a envolver diversos novos veículos de atuação e materiais utilizados, como é possível observar nas técnicas usadas por Marcello Nitsche, que se apropriou de insumos industriais, e na forma que Hélio Oiticica explorou a relação do público com as obras de arte. Sendo assim, seria complexo listar artistas contemporâneos mais recentes no Brasil e no

mundo que utilizam de plástico em suas obras, pelo fato de que materiais plásticos podem abranger uma ampla alçada de técnicas, desde tintas, como a tinta acrílica, a suportes e materiais diversos utilizados em performances, instalações etc. Contudo, pode-se mencionar uma artista contemporânea brasileira mais recente que fez uso de plásticos em suas obras para um breve comentário.

Márcia X foi um artista plástica carioca que teve uma forte e plural carreira ao longo de 25 anos, até sua morte, em 2005. Focando na realização de performances nos anos 1980, na década de 1990 Márcia passa a trabalhar com a produção de peças e instalações fazendo grande uso de materiais plásticos. Grande parte desses objetos estão atualmente na coleção Gilberto Chateaubriand, no Museu de Arte Moderna do Rio de Janeiro (MAM-Rio), e foram levados a público na exposição “Arquivo X”, que aconteceu no museu em 2013 (HAMBURGER, 2014; SÁ, 2014).

Em “Os Kaminhas Sutrinhas”(Figura 34), Márcia X espalha no chão da galeria trinta pequenas camas coloridas, com lençóis e travesseiros com motivos infantis, e, sobre cada uma delas, uma dupla ou trinca de bonecos de bebês, encaixados e unidos por pequenos fios de aço, sem suas cabeças. À disposição do público ficava um controle que acionava o mecanismo dos bonecos, fazendo-os se mexer uns contra os outros ao som da música “It’s a small world” - tema dos parques Disneyland -, dando a ilusão do ato sexual (TVARDOVSKAS, 2007).



Figura 34: À esquerda, instalação Os Kaminhas Sutrinhas, 1995, Márcia X.

Fonte: <http://marciax.art.br/mxObra.asp?sMenu=1&sObra=18>

À direita: detalhe da instalação Os Kaminhas Sutrinhas.

Fonte: <http://marciax.art.br/mxObra.asp?sMenu=1&sObra=18>

Outro trabalho onde Márcia X fez uso intenso de materiais plásticos foi a série “Fábrica Fallus” (Figura 35), produzida de 1992 à 2004. Originalmente chamada de

“Pennys Lane”, a série é formada por inúmeros pênis de borracha, comprados em *sex-shops*, enfeitados com todos os tipos de acessórios e apetrechos, dando a cada um deles uma aparência única. As intervenções ironizam a figura do falo ereto, diretamente relacionada com a masculinidade e símbolo máximo de poder patriarcal. Os falos possuem elementos diversos que não vão de acordo com o significado sexual originalmente proposto no objeto enquanto produto, sendo enfeitados com ornamentos ditos femininos, brinquedos infantis, artigos religiosos, variados enfeites, entre outros, que desestabilizam os significados e propõe uma quebra de valores morais, o que também é observado em outros trabalhos da artista (JUSTO, 2013).



Figura 35: À esquerda: Sem título, série Fábrica Fallus, 1992-2004, Márcia X
Fonte: <http://marciax.art.br/mxObra.asp?sMenu=1&sObra=2>
À direita: Sem título, série Fábrica Fallus, 1992-2004, Márcia X.
Fonte: <http://marciax.art.br/mxObra.asp?sMenu=1&sObra=13>

Em 2018 o Centro Cultural Banco do Brasil no Rio de Janeiro (CCBB-RJ) recebeu a mostra “FILE - Festival Internacional de Linguagem Eletrônica - A arte eletrônica na época disruptiva”, que apresentava diversas obras de natureza eletrônica, sendo várias com possibilidades de intervenção e participação do público. Dentre os trabalhos que mais atraíram a atenção dos visitantes está a obra “Shrink”, de 1995, do artista belga Lawrence Malstaf, que literalmente embala os participantes em plástico (figura 36). Cada pessoa por vez ficava dentro da estrutura, formada por duas grandes folhas de plástico, e aos poucos um mecanismo sugava todo o ar presente ali dentro, deixando para o participante apenas um tubo, que ele deveria segurar, para poder respirar enquanto a ação acontecia. Após a retirada de todo o

ar, a pessoa ficava presa em um semi-vácuo por alguns minutos (JORNAL EXTRA, 2018).



Figura 36: Shrink, 1995, Lawrence Malstaf.
Fonte: <http://lawrencemalstaf.com/work/shrink.html>

2.2 – Plásticos em coleções

Como analisado ao longo da seção anterior é possível afirmar que plásticos são utilizados no mundo da arte para a execução de obras há praticamente um século, sendo a princípio plásticos produzidos com polímeros semi-sintéticos, como o acetato de celulose e nitrato de celulose, e, ao passar dos anos, acompanhando o desenvolvimento da indústria, plásticos feitos de polímeros inteiramente sintéticos, como o caso do PVC, do poliuretano, entre outros. Muitas vezes podendo passar despercebidos, por se apresentarem na forma de fibras têxteis, como náilons e poliésteres, ou na forma de tintas, como as tintas acrílicas, e tintas a base de PVC e PVA, os plásticos são cada vez mais presentes em obras de arte, também como em

produtos e artigos do cotidiano, e, conseqüentemente, mais presentes em coleções de museus e instituições.

Sendo coletados principalmente como evidência do material moderno mais utilizado nos séculos XX e XXI, peças e artefatos de plástico possuem grande importância na vida e no funcionamento de museus, não apenas como parte de coleções, mas também em forma de estruturas, instalações e objetos para exposição, fazendo com que o conhecimento e a prática de formas de preservação e conservação do material sejam de extrema importância para a segurança das instituições. Por conta disso, profissionais da conservação e restauração de diversos museus e centros, como o Tate Museum, Victoria & Albert Museum (V&A Museum), Getty Conservation Institute e o Museum of Modern Art (MoMA), passaram a compartilhar entre si pesquisas e estudos que produziam em relação ao tratamento dos materiais poliméricos. Em virtude à necessidade de maior desenvolvimento no campo da conservação de plásticos, em 1966 o Conselho Internacional de Museus (ICOM) criou um grupo de trabalho denominado “Materiais Modernos e Arte Contemporânea” (Modern Materials and Contemporary Art), destinado a atender as preocupações relacionadas ao gerenciamento de materiais plásticos em ambientes de museus (TSANG, 2010).

O V&A Museum que a princípio tratava das peças com plástico a partir de sua categoria museológica - uma cadeira de plástico iria para o departamento de móveis; uma capa de chuva de plástico iria para o departamento de têxteis - teve de mudar seus métodos de abordagem em consequência do número de objetos feitos de plástico que iam sendo adicionados à coleção. Assim, em 1992 foi nomeado o primeiro conservador da instituição especializado em plásticos. Em 1993 já haviam sido identificadas mais de 4500 peças com plástico no acervo do museu, de acordo com pesquisa focada na coleção de brinquedos do Bethnal Green Museum of Childhood (OAKLEY; THEN, 1992). Brenda Keneghan, cientista de polímeros do V&A Museum, que em 1994 tornou-se a responsável no projeto de identificação de plásticos nas coleções do museu e de todas suas instituições filiais, escreve em artigo publicado em 1996 sobre uma curiosa atitude que presenciou com frequência ao tratar com os responsáveis das diversas coleções do V&A Museum, que afirmavam seguramente não haver peças feitas de plástico nas coleções, e que os mesmos ficavam surpresos ao descobrir que na realidade haviam. Ela relaciona esta

síndrome à errônea associação que as pessoas costumam fazer dos plásticos com a atualidade, sem relação com o passado.

As coleções museológicas são reflexo da sociedade ao longo da história, também sendo influenciadas pelo avanço das tecnologias de novos materiais. Com o desenvolvimento da cultura material, surgiu uma variedade muito maior de objetos coletados, nos quais materiais sintéticos foram destacados. Considerando os primeiros semi-sintéticos criados, como o nitrato de celulose, pode-se dizer que os plásticos já estão presentes na vida humana há um século e meio, tornando muito difícil a existência de acervos que não possuam nenhum objeto feito com plástico em suas coleções (KENEGHAN, 1996).

A partir dessa pesquisa, Keneghan (ibid) expôs que a maior parte dos objetos feitos de plásticos apresentavam sérios problemas, independente da forma que tomavam. Ela lista cinco materiais poliméricos que mais necessitavam atenção em relação aos processos de degradação: a borracha natural, os primeiros semi-sintéticos - nitrato de celulose e acetato de celulose -, o policloreto de vinila e o poliuretano. Em artigo publicado em 2005, Keneghan explica que em 1998 o título de “conservador de plásticos” do V&A Museum foi alterado para “cientista de polímeros”, em reconhecimento ao fato de que os processos de degradação de materiais plásticos eram de natureza química, exigindo assim uma formação científica para poder compreender-se o que estava acontecendo com os materiais, antes de qualquer abordagem de tratamento ser considerada.

Já em relação aos acervos de museus e instituições brasileiras não há muita informação publicada, possivelmente pelo fato de não haver muitos estudos sendo feitos em relação à presença de plásticos na coleções e como lidar com esse material no âmbito museológico e da conservação. Por conta disso, foi realizado para este trabalho um levantamento de museus, apresentado no capítulo 4, tentando abranger todas as regiões do Brasil, para assim se poder analisar como são tratados os objetos com plástico dentro das coleções museológicas por todo o país.

CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA

3 – Metodologia

Neste capítulo é apresentada a descrição de como foram realizadas as pesquisas para a elaboração desta monografia. A pesquisa foi dividida em três etapas, explicitada a seguir:

O primeiro levantamento foi realizado acerca dos museus brasileiros que apresentam objetos culturais plásticos em suas coleções por todo país. Para isso foi utilizado o site <http://museus.cultura.gov.br/>, que faz mapeamento de mais de 3.000 museus pelo Brasil. A princípio as buscas, realizadas em Setembro de 2020, foram feitas utilizando os termos “arte contemporânea” e “arte moderna”, uma vez que museus nessas categorias poderiam apresentar quantidade mais significativa de plásticos nas coleções. Feita a seleção dos museus que se apresentavam interessantes para a pesquisa, foram realizadas buscas pelo acervo nos sites dos museus, procurando verificar a presença de materiais plásticos nas coleções.

Após compilação dessas informações, a autora dessa monografia entrou em contato, por e-mail, com os responsáveis pelos acervos dos museus que não apresentavam busca de acervo ou nem sequer um site próprio, questionando se poderiam confirmar a presença de obras e objetos com materiais plásticos nas coleções.

O segundo levantamento foi feito através de pesquisas em cima de três dissertações de mestrado brasileiras, que realizaram estudos sobre acervos com materiais plásticos de algumas instituições museológicas brasileiras, selecionadas pelas autoras destes trabalhos.

O terceiro levantamento foi realizado através de buscas em bases de dados científicos, como o ScienceDirect e SciELO, por referências bibliográficas relacionadas à conservação e deterioração de plásticos, que pudessem contribuir para a consolidação de diretrizes para a conservação preventiva de tais objetos culturais, utilizando os termos “plastic, conservation”, “plastic, deterioration”, “plastic, museum” e “polymer, museum”. Também foi feita a seleção de algumas publicações e periódicos de instituições museológicas, encontrados nos sites das mesmas, como também livros que abordassem o tema da conservação de plásticos.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4 – Resultados e Discussão

A seguir, serão apresentados os resultados referentes a cada etapa de levantamento e pesquisa, explicitadas anteriormente, no capítulo de metodologia.

4.1 – Levantamento de museus brasileiros com coleções plásticas

A partir das buscas a partir do site <http://museus.cultura.gov.br/>, e seus desdobramentos, explicitados no capítulo anterior, a autora realizou a seleção de instituições museológicas por todo país, para então realizar pesquisa sobre seus acervos em seus sites. A relação dos museus selecionados nesta etapa está apresentada abaixo no Quadro 3.

REGIÃO	ESTADO	MUSEUS PESQUISADOS
NORTE	ACRE (AC)	Museu Universitário da Universidade Federal do Acre - Acervos Históricos, Arte (pinacoteca) e História Natural (Rio Branco)
	AMAZONAS (AM)	Pinacoteca do Amazonas (Manaus)
	PARÁ (PA)	Espaço Cultural Casa das Onze Janelas - Museu de Arte Contemporânea (Belém)
NORDESTE	ALAGOAS (AL)	Museu Coleção Karandash de Arte Popular e Contemporânea (Maceió)
	BAHIA (BA)	Museu de Arte Contemporânea Raimundo de Oliveira (Feira de Santana), Museu de Arte Contemporânea (Senhor do Bonfim), Museu de Arte Moderna da Bahia (Salvador)
	CEARÁ (CE)	Museu de Arte Contemporânea do Ceará (Fortaleza), Pinacoteca de Sobral (Sobral)
	PARAÍBA (PB)	Núcleo de Arte Contemporânea da Universidade Federal da Paraíba (João Pessoa), Pinacoteca da Universidade Federal da Paraíba (João Pessoa)
	PERNAMBUCO (PE)	Museu de Arte Contemporânea de Pernambuco (Olinda), Museu de Arte Moderna Aloísio Magalhães (Recife)

	RIO GRANDE DO NORTE (RN)	Pinacoteca do Estado (Natal), Pinacoteca Potiguar (Natal)
CENTRO-OESTE	MATO GROSSO DO SUL (MS)	Museu de Arte Contemporânea de Mato Grosso do Sul (Campo Grande)
	GOIÁS (GO)	Museu de Arte Contemporânea de Goiás (Goiânia), Museu de Arte Contemporânea (Jataí)
SUDESTE	RIO DE JANEIRO (RJ)	Casa Roberto Marinho (Rio de Janeiro), Museu Bispo do Rosário (Rio de Janeiro), Museu de Arte Contemporânea (Niterói), Museu de Arte Moderna (Rio de Janeiro), Museu de Arte Moderna (Resende)
	SÃO PAULO (SP)	Museu de Arte Contemporânea de Campinas (Campinas), Museu de Arte Contemporânea de Sorocaba (Sorocaba), Museu de Arte Contemporânea da Universidade de São Paulo (São Paulo), Museu de Arte Moderna (São Paulo), Museu de Artes de São Paulo Assis Chateaubriand (São Paulo), Pinacoteca do Estado de São Paulo (São Paulo)
	MINAS GERAIS (MG)	Instituto Cultural Inhotim (Brumadinho)
SUL	PARANÁ (PR)	Museu de Arte Contemporânea do Paraná (Curitiba), Museu Guido Straube - Colégio Estadual do Paraná (Curitiba), Museu Histórico de Londrina (Londrina), Museu Municipal Atilio Rocco (São José dos Pinhais), Museu Oscar Niemeyer (Curitiba), Museu Paranaense (Curitiba)
	RIO GRANDE DO SUL (RS)	Museu de Arte Contemporânea do Rio Grande do Sul (Porto Alegre), Museu de Arte do Rio Grande do Sul (Porto Alegre)
	SANTA CATARINA (SC)	Museu de Arte Contemporânea Luiz Henrique Schwanke (Joinville)

Quadro 3: Relação de museus selecionados para realização de pesquisa.

Após essa compilação por estados brasileiros foram realizadas buscas nos sites dos museus para saber se essas plataformas já apresentavam as informações necessárias acerca da confirmação de presença de acervos plásticos em suas

coleções museológicas. Infelizmente, a grande maioria não possuía nem um site próprio (na época da realização da pesquisa, em Setembro de 2020), apresentando apenas uma página dedicada à instituição no site da prefeitura da cidade onde se encontra.

Dos museus que apresentaram site próprio apenas o Instituto Cultural Inhotim (ICI) em Brumadinho, Minas Gerais, o Museu de Arte Moderna do Rio de Janeiro (MAM-Rio), Museu de Arte Moderna de São Paulo (MAM-São Paulo), o Museu de Arte Contemporânea da Universidade de São Paulo (MAC-USP) e o Museu de Arte de São Paulo Assis Chateaubriand (MASP) apresentavam uma ferramenta de busca dos acervos onde se poderiam pesquisar a técnica utilizada na execução da obra, como os materiais e suporte. Importante mencionar que o site da Pinacoteca de São Paulo também possui essa ferramenta de busca, porém, na época da realização desta etapa da pesquisa, o site encontrava-se em manutenção, dessa forma não sendo possível a utilização da ferramenta.

O Museu de Arte do Rio Grande do Sul (MARGS), em Porto Alegre, apresentava o acervo catalogado no site, porém sem ferramenta de busca por técnicas, tendo-se que realizar uma verificação individual por cada obra, o que tornaria a pesquisa mais trabalhosa. Já o site do Museu Bispo do Rosário, no Rio de Janeiro, não apresentava nenhum tipo de acesso direto ao acervo, porém, a partir de fotografias das obras foi possível visualizar a presença de objetos plásticos, já que grande parte dos trabalhos do Bispo do Rosário foi feita a partir da assemblagem de variados objetos.

Usando a ferramenta de busca da técnica das obras nos sites dos museus que apresentavam essa ferramenta, mencionados anteriormente, foi realizada pesquisa utilizando os termos “acrílico”, “náilon”, “plástico”, “poliéster” e PVC, por serem materiais e técnicas mais comumente descritas em obras de arte. Assim, foi possível confirmar que todos esses museus tinham a presença de materiais plásticos em seus acervos.

Já no caso do site do Museu de Arte Contemporânea do Paraná (MAC Paraná) a seção de acervo levava à plataforma <http://www.memoria.pr.gov.br/biblioteca/index.php>, que apresenta não apenas o acervo do mesmo, como também de diversos outros museus e instituições paranenses, permitindo a busca a partir da técnica das obras e peças. Com isso, foi possível confirmar a presença de materiais plásticos dos mais variados tipos, não

apenas no MAC Paraná, como também em vários outros espaços, listados acima no Quadro 3, no estado do Paraná. Ainda, foi interessante notar que grande parte dos objetos apresentados no resultado desta busca eram de valor histórico, e não artístico, como objetos de uso cotidiano, aparelhos de fotografia analógica, vestimentas com fibras têxteis plásticas, entre outros.

A solução escolhida para a pesquisa dos museus que não apresentavam busca de acervo, ou um site próprio, foi o contato por e-mail, questionando se poderiam confirmar a presença de plástico em seus acervos. O Museu de Arte Moderna de Resende (MAM Resende), Museu de Arte Contemporânea Raimundo de Oliveira (MAC Feira), em Feira de Santana, Museu Coleção Karandash de Arte Popular em Contemporânea, em Maceió, e o Núcleo de Arte Contemporânea da Universidade Federal da Paraíba (NAC-UFPB), em João Pessoa, deram pronto retorno, confirmando a presença de materiais plásticos em suas coleções. O Museu de Arte Contemporânea do Rio Grande do Sul (MAC-RS), em Porto Alegre, também deu retorno, mas alegou que, por estarem trabalhando de forma remota, devido ao isolamento social causado pela pandemia do coronavírus, não tinham acesso online ao acervo do museu, não podendo, então, confirmar quais técnicas possuíam nas coleções; porém, indicaram uma dissertação de mestrado realizada em seu acervo, e no do Museu Julio de Castilhos, também em Porto Alegre, que será citada na próxima seção.

Os outros museus presentes no Quadro 3 que não foram citados infelizmente não deram retorno até o momento em que o presente texto foi redigido, sendo assim inviável confirmar se possuem plásticos ou não. Com o intuito de facilitar o acesso aos dados em pesquisa remota seria interessante que as instituições pensassem formas de ampliar as informações publicadas e disponíveis em meio digital.

4.2 – Levantamento de museus brasileiros com coleções plásticas em dissertações

Além da pesquisa sobre coleções plásticas em museus brasileiros, outro levantamento realizado foi através de dissertações de mestrado com esta temática, sendo possível, então, confirmar a presença de materiais plásticos em outras

coleções de acervos museológicos brasileiros, além dos confirmados na seção anterior. São essas dissertações:

- **Acervos de obras de arte em plástico: perfil das coleções e propostas para conservação destes bens**, de 2010, da UFMG, por Conceição Linda de França;
- **Materiais plásticos no acervo da Pinacoteca do Estado de São Paulo: A Fonte das Nanás de Niki de Saint Phalle**, de 2012, também da UFMG, por Camilla Vitti Mariano;
- **O Percurso do objeto pela trilogia museológica como estratégia de conservação preventiva: musealização, pesquisa e gestão em acervos com objetos de plástico em museus públicos no RS, Brasil**, de 2019, da UFRGS, por Fernanda de Tartler Matschinske.

O trabalho de França (2010) fez um estudo a respeito da presença de materiais plásticos e seu estado de conservação dentro de acervos de instituições brasileiras, tendo a autora realizado visita a algumas, como o Instituto Cultural Inhotim (ICI) em Minas Gerais, o MAM-RJ, o Museu de Arte Moderna Aloísio Magalhães (MAMAM) em Recife e o Museu Paulista (Museu Ipiranga) em São Paulo. A partir de pesquisa realizada em conjunto com profissionais responsáveis de cada instituição, França conseguiu fazer um detalhado levantamento em relação aos plásticos existentes nos acervos. Tanto o MAM-RJ quanto o MAMAM-Recife apresentaram a mesma porcentagem, 2% de obras com materiais plásticos em relação à totalidade do acervo. Já o ICI apresentou 6% de obras com plástico. É importante dizer que tais levantamentos foram feitos excluindo pinturas com base acrílica ou vinílica e adesivos, o que sugere que se tais técnicas tivessem sido consideradas as porcentagens seriam ainda maiores.

A autora apontou que o polímero encontrado em maior número nas obras das instituições foi o PVC, seguido de acrílico, náilon, e nomenclaturas genéricas de “borracha”, salvo o MAMAM, que apresentou em maior número o PVA. França também comentou que todos os acervos apresentaram uma parcela de técnicas não identificadas que foram genericamente denominadas “plástico”, tratando de plásticos flexíveis, transparentes ou pigmentados e opacos. Também é interessante analisar as épocas em que foram produzidas as obras com plástico que estão nesses

museus, tendo surgido um grande aumento da produção a partir dos anos 1990, e principalmente dos anos 2000.

Em relação ao Museu Paulista (Museu Ipiranga) a autora não realizou detalhado levantamento em relação à porcentagem da presença de plástico, como fez com os outros museus. Neste caso, ela comentou em específico três objetos que selecionou para estudo, bonecas de brinquedo da década de 1960, já que é um museu de cunho mais histórico que artístico. Como resultado da pesquisa, França apontou que tais brinquedos, produzidos pela fabricante Estrela, de origem brasileira, foram feitos com acetato de celulose e PVC, sobre o nome comercial Vi-Vinil.

O trabalho de Mariano (2012) abordou em específico a obra “A Fonte das Nanás”, feita com poliéster e fibra de vidro, da artista Niki de Saint Phalle, membra do movimento do Novo Realismo Francês, comentado no capítulo 2, que faz parte do acervo da Pinacoteca do Estado de São Paulo. Antes de se aprofundar na obra escolhida para estudo, a autora apresentou o levantamento quantitativo de obras feitas com materiais plásticos presentes no acervo da instituição a partir da catalogação da mesma. A Pinacoteca, que possui aproximadamente 10 mil obras em seu acervo, voltado principalmente para artes plásticas brasileiras do século XVIII a XIX, conta com apenas 0,2% de trabalhos realizados com plásticos em relação ao seu total, o que soma 74 peças. Em relação a essas, os termos para materiais plásticos aplicado pelo banco de dados usado na instituição, o sistema DONATO, são: acetato, acrílico, látex, nylon, plástico (genérico), policarbonato, poliéster com fibra de vidro, poliestireno, PVC e resina.

É importante apontar que, muitas vezes, as nomenclaturas utilizadas foram informadas pelos próprios artistas ou colecionadores, sendo algumas vezes utilizado o termo genérico “plástico”, que não identifica o material exato, ou, em outras, o material sequer foi indicado, restando à obra ser catalogada como técnica mista ou sem nenhuma identificação dos materiais plásticos. Além disso, mesmo quando indicam como técnica algum material específico, é importante se atentar que há chances de ser uma falsa associação, já que diversos materiais poliméricos podem se assemelhar quando processados como plásticos, e muito possivelmente os então proprietários das peças não realizaram nenhum tipo de análise científica, denominando o material a partir de conhecimento genérico raso.

Já o trabalho de Matschinske (2019) abordou o percurso de objetos feitos de plástico em museus públicos no estado do Rio Grande do Sul, a partir de uma perspectiva museológica, tratando das questões de musealização, pesquisa e gestão de museus e acervos. O trabalho apresentou proposta metodológica em relação a acervos com materiais plásticos, como observado em campo pela autora no Museu Julio de Castilhos (MJC) e Museu de Arte Contemporânea do Rio Grande do Sul (MAC-RS), ambos em Porto Alegre. O MAC-RS, cuja coleção se iniciou em 1990, contém obras de arte contemporânea produzidas por artistas gaúchos, brasileiros e internacionais, tendo seu acervo um total de 1420 obras. A autora realizou levantamento das obras que utilizam plásticos dentro dos materiais a partir de pesquisa nas planilhas de Excel, utilizadas pelo museu como forma de catálogo. A partir dessa pesquisa, foi constatado que as obras com plástico nas técnicas representavam apenas 3% em relação ao total do acervo, sem levantamento específico dos materiais poliméricos lá existentes. O Museu Julio de Castilhos (MJC) foi criado em 1903 sendo chamado, na época, de Museu do Estado do Rio Grande do Sul, tendo o nome trocado para Museu Julio de Castilhos em 1907, uma homenagem que o então presidente do Estado do Rio Grande do Sul, Antônio Augusto Borges de Medeiros, fez ao seu antecessor e importante líder político. Esse museu foi tombado em 1982 pelo Instituto do Patrimônio Histórico do Estado (IPHAE-RS), e é a instituição museológica pública mais antiga do RS. Atualmente seu acervo, de caráter principalmente histórico, conta com aproximadamente 11.800 peças organizadas em 29 coleções, sendo a coleção iconográfica, com 2287 peças, a maior, e a automobilística, com apenas 4 exemplares, a menor. Diferente do MAC-RS, o MJC utiliza, como banco de dados, o sistema DONATO⁴, o que tornou mais ágil a pesquisa em relação à presença de materiais plásticos.

A partir disso, Matschinske (2019) fez uma segunda pesquisa focando nas peças e objetos que se enquadrassem ao critério de “uso doméstico/feminino”, já que tal categoria apresentou presença mais significativa do material. A autora optou por tal recorte por o acervo como um todo não apresentar forte presença de plásticos, sendo muitas vezes em baixa quantidade, apenas em detalhes nos objetos. Dessa forma não foi apresentado um levantamento do número específico de

⁴ Sistema de informações de acervo criado pelo Museu Nacional de Belas Artes. GEMENTE, Gilson. Vinte anos de Donato: um breve histórico do banco de dados do Museu Nacional de Belas Artes. In: BEVILACQUA, Gabriel Moore Forell; MARINGELLI, Isabel Cristina Ayres da Silva (Coord.). / *Seminário Serviços de Informação em Museus*. São Paulo: Pinacoteca do Estado, 2011. p. 127-132.

peças em plástico em relação ao total do acervo, mas sim uma amostragem de proporção em relação à quantidade de peças com plástico nas coleções do museu. A coleção de indumentária apresentou 9% do total de objetos com plástico, a coleção de utensílios domésticos apresentou 2%, a coleção de máquinas apresentou 1%, e todas as outras coleções, 88% do total.

A partir da análise desses trabalhos mencionados, da pesquisa realizada a partir da busca de acervo nos sites dos museus e do contato por e-mail dentre os que retornaram, é possível afirmar que obras de arte, peças e objetos históricos feitos com plástico - seja na totalidade de sua composição ou mesmo como uma pequena parte - estão presentes em museus dos mais diversos tipos e temas, como também em diversas regiões do Brasil.

A presença de materiais plásticos nos acervos apresenta um grande desafio museológico e de conservação, por serem materiais que podem ser feitos com diversas matérias primas diferentes (tanto os materiais poliméricos quanto os aditivos), que necessitam de grande cuidado e atenção. Por serem materiais razoavelmente recentes na história humana, tendo surgido há pouco menos de dois séculos, não existem ainda muitos estudos publicados em relação à conservação e aos processos de degradação dos plásticos, principalmente em língua portuguesa - o que torna urgente o aprofundamento de tais estudos no Brasil, como também no mundo.

Na próxima seção, serão abordados os processos de degradação que objetos com plástico na composição sofrem num contexto de museus e coleções, e os métodos existentes para sua preservação e conservação.

4.3 – Desafios da conservação de objetos plásticos em museus

Como qualquer material orgânico, materiais plásticos sofrem processos de deterioração ao longo de sua “vida”, de diferentes formas e escalas, que muitas vezes podem ser imprevisíveis. No campo da indústria dos polímeros, a deterioração diz respeito apenas a alterações na estrutura física e química dos componentes enquanto ainda em processo de fabricação. Já no campo da conservação de bens culturais, a deterioração também tem relação direta com como afeta o

funcionamento, a forma e o significado que o objeto tem em contexto museológico e cultural (SHASHOUA, 2008; WILLIAMS, 1997).

Muitos estudos publicados relatam processos de deterioração de plásticos em ambientes externos, focando em áreas de estudo como infestações biológicas, poluição marinha e ambiental, de forma geral. Ainda, em escala um pouco menor, existem as publicações a respeito dos processos de deterioração de objetos e obras de arte em plástico em ambientes museológicos, em coleções e acervos, o que está diretamente ligado ao tema deste trabalho. Independentemente, os dois tipos de foco das publicações serão comentados ao longo desta seção, afinal, para se pensar a conservação de bens culturais plásticos em museus, é extremamente necessário que o profissional da conservação, assim como – preferencialmente - qualquer profissional atuante nessas instituições, conheça os agentes e as formas de deterioração que podem afetar tais bens.

Em seguida serão comentados métodos e procedimentos de conservação, tanto os mais amplos, quando se pensa a conservação de bens culturais de forma geral, quanto de forma mais específica, a partir de estudos existentes focados na conservação de plásticos.

4.3.1 – Plásticos como objetos culturais e bens museológicos

Materiais plásticos começaram a ser produzidos a partir de meados do século XIX, com polímeros semi-sintéticos, como o nitrato de celulose, acetato de celulose e o polímero da união caseína-formaldeído, principalmente. Já no século XX, a partir de descobertas empíricas não planejadas e estudos científicos, uma enorme variedade de plásticos sintéticos foi criada, e aplicada aos mais diversos fins. Desde o começo do século XX, artistas como Naum Gabo e Antoine Pevsner já estavam aplicando plásticos em suas criações artísticas, seguidos por Laszlo-Moholy Nagy, artistas do movimento Artpop e Novo Realismo francês, e mais à frente, amplamente na arte contemporânea. Também foram utilizados na imitação de materiais nobres, em jóias e objetos decorativos; substituindo materiais mais frágeis, como o vidro; e também na fabricação de móveis e utensílios domésticos, brinquedos, roupas, na forma de fibras, materiais para construção, na indústria automobilística, aérea e aeroespacial, e em diversas outras áreas (DONATO, 1972; MACHADO, ZACARIAS,

2009; MOHOLY-NAGY, 1950; OSTERWOLD, 2007; RADFORD, 2017, SHASHOUA, 2008).

De acordo com Maria Inêz Candido (2006, p. 32), “um museu constitui um espaço privilegiado para a produção e reprodução do conhecimento, tendo a cultura material como instrumento de trabalho”. A definição do Conselho Internacional de Museus (ICOM, 2007) diz que um museu é uma instituição permanente, sem fins lucrativos, a serviço da sociedade e seu desenvolvimento, aberta ao público, que adquire, conserva, pesquisa, comunica e exhibe o patrimônio tangível e intangível da humanidade e seu ambiente, com o objetivo da educação, estudo e prazer. O Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN apud COSTA, 2006, p. 8) ainda lista diversas atuações competente aos museus, como trabalho permanente com o patrimônio cultural; acervos e exposições colocados a serviço da sociedade; desenvolvimento de programas, projetos e ações educativas partindo do patrimônio cultural; comunicação, exposição, documentação, investigação, interpretação e preservação de manifestações e bens culturais; democratização do acesso, uso e produção de bens culturais; e constituição de espaços de relação e mediação cultural com orientações políticas, culturais e científicas.

Assim sendo, o maior desafio dos museus é a preservação de seus bens, e informações que o qualificam como documento histórico. Logo, a preservação – que em sentido amplo se refere à coleta, à aquisição, à conservação, à comunicação, por meio de exposições, projetos educativos, publicações, e à pesquisa e investigação – não deve ser vista como um fim a ser atingido, e sim um meio no qual se inicia o processo de comunicação à sociedade (CÂNDIDO, 2006).

É importante acentuar que a palavra preservação é um termo “guarda-chuva” que engloba diversas atuações referentes à salvaguarda de patrimônios e bens culturais, como explicitado anteriormente, sendo a Conservação a área de conhecimento que se refere à conservação preventiva e à restauração.

Partindo dessas informações, objetos históricos e obras de arte feitos de plástico que integram acervos e coleções museológicas estão sujeitos à Conservação, sendo o objetivo deste trabalho o enfoque na conservação preventiva de tais bens.

A conservação preventiva se refere a ações preventivas em relação ao controle ambiental, acondicionamento, transporte e exposição, a partir do levantamento de potenciais riscos, aplicando métodos para prevení-los, e não deve

ser vista como criadora de obstáculos para a apreciação e exposição de coleções, mas sim, como articuladora de soluções que permitam a utilização de bens culturais sob menores custos possíveis de deterioração (CÂNDIDO, 2006; COSTA, 2006; MUÑOZ-CAMPOS, 2012).

Como materiais plásticos são relativamente recentes, tendo pouco mais de 150 anos desde suas primeiras aparições, ainda não existe muito conhecimento e estudos difundidos a respeito de seus mecanismos de deterioração e métodos de conservação, se comparado com tais informações a respeito de materiais tradicionais, como madeira, metais, como o bronze, pedras, telas pintadas a óleo, entre outros. No entanto, nas últimas décadas houve crescimento de pesquisas na área da conservação de plásticos, somado a alguns projetos internacionais, envolvendo diversos museus e instituições, que focaram em análises, experimentos, pesquisas e documentação da deterioração e propostas de conservação do material, que serão abordados na seção 4.3.3 (LEARNER; MADDEN, 2014).

Porém, mesmo com o avanço nas pesquisas, ainda não são tão altos os números a respeito de publicações que partem da deterioração e conservação de plásticos em âmbito museológico. Existem diversos artigos publicados que tratam da deterioração de materiais plásticos, comentados na seção 4.3.2, mas que focam em áreas de poluição marinha e ambiental, e ação de microorganismos, em relação a objetos plásticos do cotidiano.

O Instituto Getty de Conservação (Getty Conservation Institute – GCI), em Los Angeles, possui um periódico chamado “Conservation Perspectives”, que já apresentou alguns volumes que abordavam a questão dos plásticos na área da conservação, como o *Modern and Contemporary Art* (volume 24, nº 2), de 2009, e o *Conservation of Plastics* (volume 29, nº 1) de 2014, ambos disponíveis gratuitamente no site do instituto. Outra publicação valiosa para a área é o livro “*Conservation of Plastics*”, de Yvonne Shashoua, de 2008, que apresenta um longo e aprofundado estudo a respeito de todas as questões e nuance existentes na conservação de plásticos.

Publicações de artigos científicos, infelizmente, se apresentam em número reduzido. No site ScienceDirect (<http://www.sciencedirect.com>), uma plataforma de acesso à inúmeras revistas científicas, a busca, realizada em junho de 2021, pelos termos “*plastics or polymer and museum*” (plásticos ou polímeros e museus)

apresentou, de 2010 a 2021, 64 resultados, com uma distribuição variável de publicações por ano, conforme o Gráfico 5.

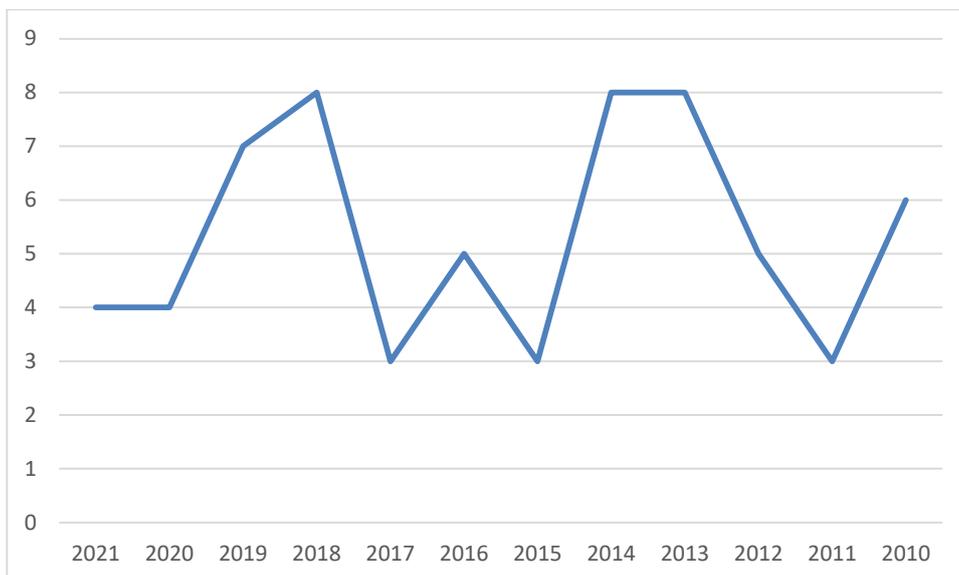


Gráfico 5: Compilação do resultado de artigos com os termos “plastics or polymer and museum” (plásticos ou polímeros e museus). de 2010 a 2021, na plataforma ScienceDirect (<http://sciencedirect.com>)

Quando a pesquisa é realizada somente com os termos “plastic and museum”, o número de publicações reduz-se para 32 para o mesmo período, mostrando que, em muitos artigos, é comum referir-se à plásticos como materiais poliméricos.

Já buscas pelos termos “*plastics and deterioration*” (plásticos e deterioração) apresentaram mais de 1000 referências bibliográficas, das quais cerca de 693 são referentes aos últimos 10 anos, enquanto buscas com os termos “*plastics and conservation*” (plásticos e conservação) apresentaram 428 publicações para o mesmo período. Importante observar que a maioria dessas referências não se refere à área de conservação de plásticos em si, e sim, a outros sentidos dos termos, como cirurgias plásticas, efeitos plásticos em outros tipos de material, e afins.

Já na plataforma SciELO, a busca em português por “plásticos, museus”, “plásticos, acervo” e “plásticos, conservação” não apresenta nenhum resultado, o que indica a urgente necessidade de mais pesquisas e publicações sobre o tema no Brasil.

No levantamento bibliográfico realizado para este trabalho, as únicas produções acadêmicas brasileiras encontradas sobre conservação de plásticos em

contexto museológico foram as de França (2010), Mariano (2012) e Matchinske (2018), comentadas anteriormente, na seção 4.2.

Sendo assim, reafirmamos o propósito de investigar os processos de deterioração aos quais objetos plásticos em museus estão submetidos, e buscar formas mais indicadas para a conservação de tais bens, partindo da literatura já existente sobre o tema – que, como visto, é praticamente toda em língua estrangeira – e, além disso, inspirar outros profissionais da conservação e pesquisadores que tenham interesse a se aprofundar no tema.

4.3.2 – Processos de deterioração

Materiais plásticos, por serem materiais de estrutura química orgânica, estão mais susceptíveis a sofrer processos de deterioração ao longo do tempo. Tais deteriorações podem ser de origem química, física ou até mesmo biológica, e são causadas a partir de fatores ambientais em que os objetos plásticos se encontram. Em alguns casos, o processo de deterioração de um único objeto pode acabar proporcionando a deterioração de outros a sua volta, como nos casos de emissão dos COV melhor comentados mais a frente, que aceleram processos destrutivos em contato com os materiais. As deteriorações químicas que ocorrem com plásticos causam cisão ou rompimento de cadeia, ligações cruzadas, desenvolvimento de grupos cromóforos e de grupos polares (KEARNEY et al., 2018; SHASHOUA, 2008; WILLIAMS, 1997).

Como já relatado no capítulo 1, a intensa produção de plásticos, que vem crescendo exponencialmente a cada ano, tem como consequência um descarte excessivo do material, principalmente relacionado a sua aplicação na fabricação de embalagens descartáveis e sacolas. Tal situação resulta numa expressiva presença de plásticos em lixões urbanos, além da poluição marítima, dos solos e do ar, que, em contato com diversos fatores presentes no ambiente em que se encontram, acabam por também sofrer processos de deterioração e degradação (JAMBECK, 2015; WWF, 2019).

Potrykus et al. (2020), em artigo publicado, relatam estudo realizado a partir das análises de amostras de plásticos retiradas de um aterro sanitário urbano na província da Pomerânia, na Polônia. As amostras foram retiradas de um lote do

aterro que não era mais utilizado, estando o lixo coberto por uma fina camada de solo, sem nenhum acréscimo de lixo novo por 5 anos (em relação a data em que o estudo foi realizado). Assim, pôde-se concluir que os plásticos utilizados teriam no mínimo 5 anos de existência.

A amostra escolhida fora identificada como embalagem de pão, tendo sido adquirida uma embalagem similar nova para comparação. A partir de análise realizada com FTIR (Fourier-transform infrared spectroscopy – Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier) foi possível identificar a amostra como sendo de polipropileno, sendo também o mesmo tipo de polímero utilizado na amostra comparativa. Utilizando um microscópio eletrônico de varredura (scanning electron microscopy – SEM) foi possível observar o estado de deterioração do polipropileno antigo, com sua superfície apresentando sinais de delaminação, resultando na formação de microplásticos, além de também apresentar rachaduras. Ainda, a presença de formas ovais na superfície do plástico antigo levantou a possibilidade da presença de microorganismos no material, o que fora confirmado com análise de microscopia de fluorescência, que relatou a existência de uma forte colônia de microorganismos, espalhada por toda superfície da amostra de forma uniforme, com algumas concentrações nas rachaduras já antes analisadas.

Além disso, também fora observado que os microorganismos lá presentes possuíam capacidade de sobreviver na superfície do plástico, o que poderia contribuir ainda mais para os processos de deterioração do material. Enquanto armazenados em um lote de lixo aterrado, os plásticos utilizados no estudo possivelmente foram expostos a diversos fatores ambientais, como altas temperaturas, exposição a radiação UV, contato com produtos químicos provenientes de outros materiais em degradação ali presentes, alterações de pH entre outros. Tais fatores contribuem ativamente para os processos de deterioração que o plástico sofreu ao longo do tempo (POTRYKUS et al., 2020).

Biber, Foggo e Thompson (2019) também realizaram estudo sobre a deterioração de plástico em ambientes externos, a partir da análise dos efeitos da foto-oxidação em diversos tipos de plástico, tanto na água do mar, quanto no ar. Amostras de polietileno, poliestireno, politereftalato de etileno e Biothene®, um plástico degradável, foram expostas a um metro de profundidade na água do mar, e ao ar, tanto na luz quanto na sombra, para poder se observar os efeitos de tais fatores ambientais, mantendo um grupo comparativo acondicionado em escuro

absoluto. Os resultados mostraram que todos os materiais perderam extensibilidade, sendo o ambiente do ar com iluminação o que causou mais rápido a deterioração. O poliestireno, polietileno e o Biothene® apresentaram sinais de oxidação quando expostos tanto na luz quanto na sombra, no ar. O poliestireno perdeu praticamente toda sua extensibilidade depois de 100 dias exposto na água do mar, tanto na luz, quanto na sombra, ambiente que também acelerou o mesmo processo no Biothene®.

Dos quatro tipos de plástico, o poliestireno foi o que apresentou sinais de deterioração mais rapidamente, seguido do Biothene® que foi deteriorando de forma gradual e uniforme, o polietileno, que só apresentou sinais de deterioração depois de 240 dias exposto aos ambientes, e por fim o politereftalato de etileno, que quase não apresentou sinais de deterioração, salvo quando no ar iluminado, que fez suas propriedades de extensão diminuírem abruptamente entre 240 e 360 dias de exposição. As amostras permaneceram expostas aos ambientes durante 600 dias. O contato com a água do mar não causou alterações moleculares nos materiais, o que sugere que a água proporciona proteção à fotooxidação causada pela radiação UV. Dessa forma, o lixo plástico presente em mares e oceanos consegue permanecer praticamente intacto durante muito tempo, o que contribui ainda mais para a poluição marítima (BIBER, FOGGO, THOMPSON, 2019).

Certamente, objetos e obras de arte feitas de plástico presentes em acervos e coleções de museus não sofrem processos de deterioração da mesma forma que os citados nos estudos acima, justamente por não estarem exposto de forma tão radical e agressiva aos fatores ambientais que causam deterioração, e sim, acondicionados em ambientes controlados dentro das instituições. De todo modo, ainda existem agentes deteriorantes que podem contribuir, mesmo que de forma mais lenta, para os processos de deterioração que esses bens sofrem, além de que em diversos casos os objetos já adentram coleções sofrendo algum processo de deterioração, mesmo que esse ainda não seja visualmente detectável.

Dependendo das condições em que se encontram, plásticos podem perder sua força, rachar e até mesmo encolher ao longo do tempo. Além disso, também as borrachas podem perder sua flexibilidade, ficar frágeis, endurecer e rachar, ou mesmo amolecer, atingindo característica esponjosa e pegajosa. Como cada plástico é feito com uma formulação, aditivos e processamentos próprios, cada tipo e cada objeto plástico sofrerá deterioração de forma única. Porém, existem

generalizações que podem ser consideradas dentro das deteriorações dos plásticos, que ajudam a se pensar métodos de conservação mais imediatos (SHASHOUA, 2008; WILLIAMS, 1997, 2002).

Acetato e nitrato de celulose sofrem hidrólise, ou sejam, reagem com a umidade do ambiente, formando ácidos. Borrachas naturais podem deteriorar a partir da oxidação que ocorre pelo contato dos objetos com o oxigênio presente no ar, e borrachas vulcanizadas que possuem compostos de enxofre podem reagir com o oxigênio e água da atmosfera, e produzir ácido sulfúrico, muito prejudicial para os objetos e para a saúde humana. Além deles, o policloreto de vinila (PVC) plastificado e o poliuretano (PU) também chamam atenção quanto aos processos de deterioração, se comparados a outros plásticos. Ainda, é importante se atentar ao fato de que quando iniciado um processo de deterioração nos objetos plásticos, não é possível revertê-lo, restando apenas aos profissionais responsáveis procurarem formas que reduzam os danos existentes, protegendo tanto o objeto danificado quanto os outros em sua volta (KENEHAN, 1996; TSANG, 2010; WILLIAMS, 1997, 2002).

A seguir, serão listados, de forma mais específica, agentes deteriorantes e processos de deterioração que mais atingem obras de arte e objetos plásticos em contexto museológico.

4.3.2.1 – Umidade relativa

A presença de umidade em percentuais incorretos em um espaço expositivo, ou nos ambientes em que estão acondicionados os bens plásticos, pode auxiliar nos processos de deterioração que eles sofrem. Dentre os tipos de plástico presentes nas coleções, os mais afetados por este fator acetato e nitrato e celulose e a ebonite (borracha vulcanizada que possui enxofre na composição). O acetato e nitrato de celulose acabam sofrendo deterioração pela hidrólise, ou seja, a quebra de suas macromoléculas a partir da interação com as moléculas de água, formando ácidos que podem ser liberados para o ambiente em forma de vapor, que, além de afetar a estrutura do próprio objeto, também podem ser danosos para outros em seu entorno (WILLIAMS, 1994, 1997, 2002).

No caso da ebonite, as moléculas de enxofre podem interagir com moléculas de oxigênio, e, então, com as de água, com o envelhecimento do material, o que pode eventualmente causar a produção e liberação de ácido sulfúrico, altamente prejudicial para a saúde humana e para a estabilidade dos materiais. Além dos já citados, a caseína-formaldeído, o nylon, poliésteres, o poliuretano e plásticos com pó de madeira como carga, como alguns tipos de bakelite, possuem tendência de absorver água e conseqüentemente sofrer mudança em suas dimensões, inchando, quando num ambiente com alto nível de umidade relativa, e encolhendo, em ambientes muito secos. Se essas deformações ocorrem de forma muito rápida podem causar rachaduras nos objetos (SHASHOUA, 2008; 1994, WILLIAMS, 1997, 2002).

Polímeros que sofrem processo de oxidação tendem a ficar mais polares, e assim mais sensíveis à água. O processo de hidrólise tende a ocorrer em ambiente ácido ou alcalino, e atinge principalmente polímeros formados por polimerização de condensação, que se ligam às moléculas de água, rompendo as ligações existentes entre si, causando cisão de cadeia, o que diminui a massa molecular e altera propriedades mecânicas. Ainda, a presença de água na atmosfera cria condições essenciais para a proliferação de microorganismos, como fungos (BRYDSON, 1999; MARTUSCELLI, 2010; SHASHOUA, 2008; WILLIAMS, 1994, 1997, 2002).

4.3.2.2 – Luminosidade

A luz, e principalmente, a radiação ultra-violeta (UV), pode ser considerada como o agente que mais auxilia na deterioração dos plásticos. Quanto menor o comprimento de uma onda de uma radiação eletromagnética, maior é a frequência e, conseqüentemente, maior é a energia dessa radiação. As ligações moleculares existentes em cadeias poliméricas costumam possuir valor energético de 300 a 500 kJ, sendo então resistentes às radiação visível e infra-vermelha - ainda assim, existem alguns tipos de plásticos e borrachas que também podem deteriorar sob efeito da luz visível. Já ondas de radiação UV com comprimento menor que 400nm possuem energia suficiente para quebrar ligações C-C (carbono e carbono), C-O (carbono e oxigênio), C-Cl (carbono e cloro), mas não para quebrar ligações C-H

(carbono e hidrogênio) e C-F (carbono e flúor) (BRYDSON, 1999; SHASHOUA, 2008, WILLIAMS, 1997).

Na Figura 37, é possível observar a relação entre o comprimento de uma onda de radiações eletromagnéticas entre as regiões do infravermelho, visível e ultravioleta, com suas respectivas energias.

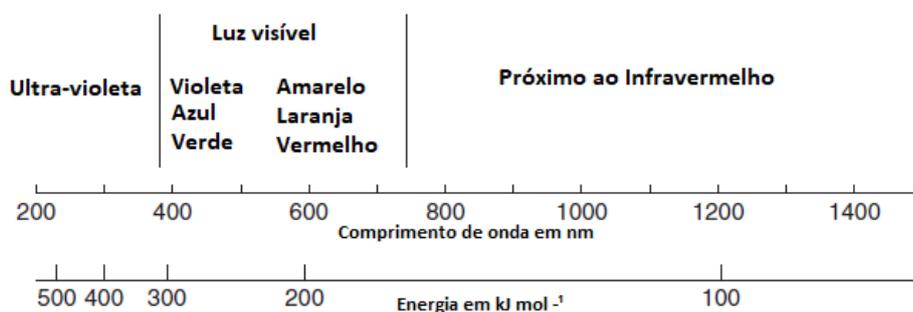


Figura 37: Relação de comprimento de onda e carga energética dos tipos de radiação.

Fonte: SHASHOUA, Yvonne. Conservation of plastics. 1st edition. Oxford: Butterworth Heinemann, 2008. Tradução da autora.

A interação de radiação UV com polímeros, principalmente poliolefinas, como o polietileno, pode causar foto-oxidação, o que fragiliza a estrutura polimérica, por causar quebras de cadeias em pontos aleatórios, além de proporcionar a formação de cadeias cruzadas, o que pode levar à diminuição da massa molecular, mudança na polidispersão (distribuição do peso molecular) e criar estruturas com cadeias cruzadas. Tal processo costuma acontecer nas regiões amorfas dos polímeros, onde a difusão de oxigênio é favorecida, comparado-se às regiões cristalinas. As quebras de cadeia, causadas pela foto-oxidação, podem levar a um processo de cristalização, assim, esse processo de deterioração leva a alterações na massa molecular e ainda nas estruturas das cadeias, alterando então suas propriedades mecânicas.

Outro processo de deterioração que um plástico pode sofrer quando em interação com a radiação UV é o desenvolvimento de grupos cromóforos, grupos funcionais que contribuem para a absorção da radiação visível, assim, apresentando cor, que podem estar presentes na cadeia principal dos polímeros, ou como alguma impureza oriunda do processo de fabricação. Grupos insaturados, como C=C e C=O (carbonilas) possuem absorção máxima entre 200 e 400nm, sendo os mais suscetíveis a foto-degradação, o que causa alteração nas cores e na aparência dos objetos plásticos.

Polímeros que originalmente não possuem grupos cromóforos, como o PVC, polietileno e polimetil metacrilato, entre outros, também podem sofrer processo de descoloração (Figura 38) e enfraquecimento a partir da oxidação que esses materiais acabam sofrendo ao longo do tempo (RODRIGUEZ et al., 2020; SHASHOUA, 2008).



Figura 38: Descoloração desigual em uma tampa de leite dinamarquesa da década de 1960 devido à exposição prolongada à luz do sol.

Fonte: SHASHOUA, Yvonne. Conservation of plastics. 1st edition. Oxford: Butterworth Heinemann, 2008.

Estudo realizado por Rodriguez et al. (2020) demonstrou os efeitos do envelhecimento pela radiação UV em relação às propriedades mecânicas do polietileno de baixa densidade. O experimento manteve amostras de polietileno de baixa densidade sob constante radiação UV, de 1.55 W/m^2 em comprimento de onda de 340nm , durante espaços de tempo de 24, 48, 72, 96, 192 e 240 horas, sendo esse último valor de tempo/radiação o equivalente a uma exposição natural a radiação UV num período de 3 a 4 meses. Os resultados mostraram que durante o envelhecimento pela radiação UV podem surgir grupos carbonilas, como ácidos carboxílicos, aldeídos e cetonas. Tais cetonas podem se decompor com o tempo, durante a radiação, de acordo com a reação de Norrish tipo I. Seguindo outro caminho, a radiação UV pode levar ao surgimento de grupos vinílicos, de acordo com a reação de Norrish tipo II (Figura 39). Tais mudanças passaram a ocorrer a partir de 48 horas de exposição.

Nas amostras utilizadas, foi observado um número maior de grupos vinílicos do que de carbonilas, o que sugere a decomposição desses grupos, que causa cisão de cadeia, levando à diminuição da massa molecular, fato observado ao longo do experimento. Em relação aos danos mecânicos, foi observado que amostras que

ficaram expostas à radiação num período entre 192 e 240 horas atingiram fragilidade tão crítica que não puderam nem mesmo ser utilizadas para testes. Ainda, a radiação UV também modificou a estrutura física das amostras. Os filmes plásticos, inicialmente lisos, tornaram-se enrugados. O processo não foi detectado no período de 48 a 96 horas, mas a sua observação se tornou possível a partir de 192 horas de exposição, com microscópio eletrônico de varredura. Fissuras superficiais começaram a ser visíveis a partir de 240 horas de exposição, e redes de microfissuras também surgiram nas amostras, o que explica a fragilidade das que não puderam ser testadas (RODRIGUEZ et al., 2020).

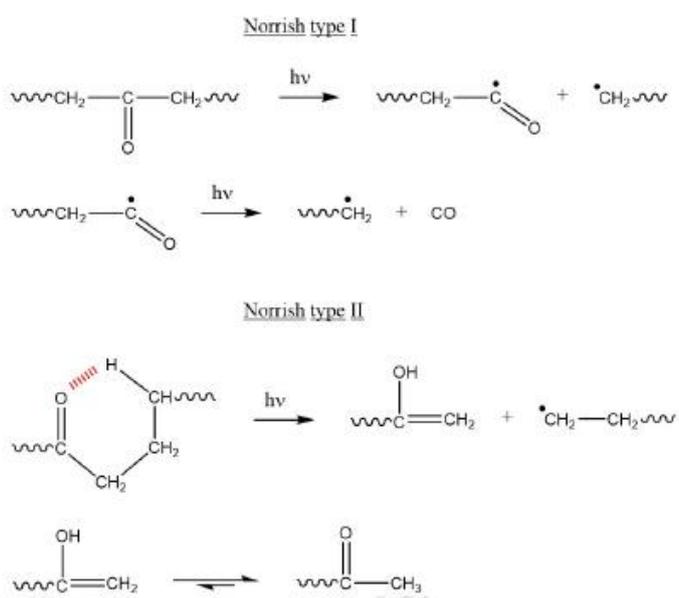


Figura 39: Início do mecanismo de foto-oxidação no polietileno: cisão de cadeia por mecanismo de cadeia de radical livre (Norrish type I – reação de Norrish tipo I), e mecanismo de decomposição do anel (Norrish type II – reação de Norrish tipo II).

Fonte: RODRIGUEZ, A.K, et al. Effects of UV-aging on the mechanical and fracture behavior of low density polyethylene. *Polymer Degradation and Stability*, v. 180, 2020

O estudo realizado por Biber, Foggo e Thompson (2019), comentado anteriormente, também apontou que no experimento feito, amostras expostas a luz sofreram mais deterioração que as expostas a sombra, o que demonstra os efeitos deteriorantes deste agente.

4.3.2.3 – Temperatura

Apesar da radiação UV ser considerada o maior agente deteriorante para plásticos, em contexto museológico é o calor que mais auxilia nos processos de deterioração dos materiais, visto que quando acondicionados em reservas técnicas esses costumam estar em ambiente escuro. O calor é fluxo de energia direcionado pela temperatura quando os corpos entram em contato, e a temperatura está diretamente relacionada com o grau de agitação das moléculas. Assim, quando há aumento de temperatura no ambiente, o calor aumenta e, conseqüentemente, há um aumento da energia cinética com o aumento da velocidade das reações bem como maior movimentação molecular.

A presença de calor é responsável pela redução das propriedades físicas, químicas e elétricas, num processo chamado termólise, a quebra de moléculas pela temperatura. Quando aquecidos, os plásticos passam a ter energia suficiente para quebrar ligações na cadeia principal ou nas cadeias secundárias, da mesma forma que acontece na interação com as radiações visível e UV, o que gera um processo de despolimerização, no qual as macromoléculas vão quebrando, tornando-se dímeros (ligação entre dois monômeros) ou trímeros (ligação entre três monômeros), que acabam se dividindo ainda mais, voltando a forma de monômeros, em um processo chamado despropagação, o que afeta diretamente as propriedades mecânicas dos polímeros. Este processo é comum no polimetil metacrilato (PMMA), como também no poliestireno (PS).

Já reações nos grupos laterais ocorrem em temperaturas mais baixas, sendo mais frequentes. O calor nesses casos causa quebra de tais grupos, o que leva a perda de pequenas moléculas, desestabilizando então as vizinhas. Tal processo é comum no policloreto de vinila (PVC) e no poliacetato de vinila (PVA). Nesse caso, a perda de uma molécula de ácido cloreto de hidrogênio (HCl) e ácido acético (CH_3COOH), respectivamente, dos monômeros desestabiliza os grupos adjacentes, que também acabam perdendo moléculas. Se os ácidos produzidos não são removidos, o processo se torna autocatalítico e acelera (SHASHOUA, 2008).

Além dos ácidos produzidos pelas quebras dos grupos laterais, altas temperaturas também podem levar a liberação de plastificantes e aditivos na forma de gases, que podem ser danosos para os plásticos e para a saúde humana. Esse processo costuma ser iniciado a partir de deteriorações químicas como hidrólise e oxidação, que podem ser iniciados com radiação UV ou calor elevado (TSANG,

2010). Os processos referentes a liberação de ácidos e vapores em geral serão melhor comentados na seção 4.3.2.8, mais a frente neste capítulo.

Ainda, o calor tem relação direta com as estruturas e comportamentos físicos dos polímeros (Figura 40), em relação à T_g (temperatura de transição vítrea), assunto aprofundado no capítulo 1. Como cada polímero possui um valor próprio de T_g , nos museus alguns plásticos se encontram em estado “emborrachado”, quando acima do seu valor de T_g , enquanto outros se encontram em estado vítreo, abaixo do seu valor de T_g . Acima da T_g os plásticos ficam mais maleáveis, flexíveis, esponjosos e até mesmo pegajosos. Pela alta movimentação das cadeias moleculares, seu volume tende a expandir. Já os plásticos em estado vítreo diminuem de volume, ficando mais rígidos, ocorre redução nas propriedades de condução termal, índice de refração, e, em alguns casos, como nas borrachas, tornam-se frágeis, correndo o risco de rachar (RAVVE, 2012; SHASHOUA, 2008).



Figura 40: Disco de vinil (PVC) antes (esquerda) e depois (direita) de degradação sofrida após aquecimento à 50°C por 30 minutos.

Fonte: SHASHOUA, Yvonne. Conservation of plastics. 1st edition. Oxford: Butterworth Heinemann, 2008.

4.3.2.4 – Presença de oxigênio

A maioria dos processos de deterioração que atingem os plásticos envolve a presença de oxigênio. Polímeros e aditivos presentes podem reagir diretamente com moléculas de oxigênio (O_2), proceso chamado de auto-oxidação, ou com produtos derivados do oxigênio. O gás ozônio (O_3), altamente reativo, é formado a partir da

reação do oxigênio com a radiação UV, e também causa oxidação (SHASHOUA, 2008).

Para as reações acontecerem é necessário primeiro que o oxigênio se difunda nos plásticos sólidos. Tal processo ocorre de forma mais fácil em polímeros com estrutura amorfa, como poliestireno (PS) e polimetil metacrilato (PMMA), do que em polímeros com estrutura cristalina, como o polietileno e o politetrafluoretileno. Além disso, os tipos de ligações das moléculas dos polímeros também influencia a interação com o oxigênio. No caso do politetrafluoretileno, por exemplo, as únicas ligações presentes nas macromoléculas são de C-C (carbono e carbono) e C-F (carbono e flúor), ambas relativamente estáveis, o que torna o polímero mais inerte. Ligações insaturadas (duplas ou triplas) são mais suscetíveis à reagir com oxigênio que as ligações saturadas (simples). Ainda, cadeias ramificadas com carbonos terciários são espaços reativos para oxidação (BRYDSON, 1999; SHASHOUA, 2008).

Outro fator que auxilia o processo de oxidação é a presença de luz e calor, como também de metais, seja como parte da cadeia polimérica ou como impureza. No caso do polietileno, o processo de oxidação começa a acontecer a partir de 50°C, mas também pode acontecer em temperatura ambiente caso o plástico esteja exposto à radiação UV. Por outro lado, quanto mais puro é um polietileno, mais tempo leva para que a oxidação inicie, pelo número baixo ou inexistência de grupos cromóforos, que absorvem radiação visível (BRYDSON, 1999; RODRIGUEZ et al., 2020; SHASHOUA, 2008).

A oxidação quando iniciada gera uma reação em cadeia que só termina quando não há mais estrutura polimérica (Figura 41). Assim como o processo de polimerização por adição, comentado no capítulo 1, a oxidação também ocorre em três etapas: a iniciação, a propagação e término da cadeia. A indução da reação começa lenta, seguida de uma rápida e autocatalítica oxidação, retornando a uma velocidade baixa ao término da cadeia. A reação começa com a remoção do hidrogênio mais ativo nas moléculas poliméricas, o que forma radicais livres, que continuam a reagir com o oxigênio presente e com o resto da molécula polimérica, gerando a propagação da reação.

A oxidação pode ser interrompida por uma etapa de terminação se os radicais livres reagirem uns com os outros, formando espécies não radicais, especialmente ésteres e cetonas que contêm grupos carbonila. A deterioração por

oxidação reduz as propriedades físicas dos plásticos, como também a aparência. Os materiais sofrem redução na resistência à tração, flexibilidade e fração devido à perda da massa molecular pelas quebras de cadeia. Também é comum a descoloração, resultante da perda dos grupos cromóforos, e a ruptura de superfícies, em forma de rachaduras, além do aumento da porosidade e da capacidade de absorver líquidos, se comparado a um material novo (HARPER, PETRIE, 2003; SHASHOUA, 2008).



Figura 41: Oxidação na borracha natural, causando desintegração da estrutura polimérica.
Fonte: KENEGHAN, Brenda. *Plastics in collections* – V&A Museum, 2007

4.3.2.5 – Poluentes ambientais

A presença de poluentes ambientais na atmosfera também proporciona uma aceleração nos processos de deterioração dos plásticos. Gases como dióxido de enxofre (SO_2) e dióxido de nitrogênio (NO_2) podem reagir com a água presente no ar e formar ácido sulfúrico (H_2SO_4) e ácido nítrico (HNO_3), respectivamente, que podem causar danos nos materiais, principalmente se em ambientes de alta umidade. O ozônio (O_3), comentado na seção anterior, pode ser produzido pela radiação UV ou por fontes eletrostáticas de alta tensão, como alguns filtros de ar, e também causar deterioração, principalmente em borrachas. Algumas máquinas de foto-cópia também produzem ozônio, porém, nesses casos o gás tende a se dissipar alguns metros de distância do local de origem, dessa forma a maior parte do ozônio

presente em museus e afins vem de áreas exteriores (MARTUSCELLI, 2010; WILLIAMS, 1997).

Outros poluentes em museus podem ser provenientes de objetos plásticos que estão sofrendo deterioração, como óxidos de nitrogênio, como o óxido nítrico (NO) e dióxido de nitrogênio (NO₂) a partir de nitrato de celulose, ácido acético (CH₃COOH), a partir de acetato de celulose, formaldeído (HCOOH) a partir de madeira, e enxofre a partir de diversas borrachas vulcanizadas. Além desses, a migração e evaporação de plastificantes presentes nos objetos também pode acelerar a deterioração no próprio objeto, como nos vizinhos (TSANG, 2010; WILLIAMS, 1997, 2002). Este tipo específico de poluição será melhor tratado na seção 4.3.2.8 deste capítulo.

4.3.2.6 – Deterioração física

Objetos plásticos também podem sofrer deterioração física. Problemas como estresse, fadiga e danos mecânicos (Figura 42) costumam ter relação ao uso dos objetos antes de serem integrados a uma coleção, como arranhar um disco de vinil pressionando a agulha do toca-discos nas ranhuras. Estes arranhões podem gerar micro-climas ao reter umidade, partículas e poluentes, agentes que auxiliam ainda mais para a deterioração dos objetos. De todo modo, mesmo em museus, o manuseio incorreto dos plásticos pode causar novos danos físicos, afinal, plásticos e borrachas quando já deteriorados tendem a ser cada vez mais frágeis.

Apesar da flexibilidade presente nas borrachas, é necessário cuidado especial ao manuseá-las e acondicioná-las, para não criar alongações ou deformações, já que estas podem auxiliar no processo de oxidação, além do possível surgimento de rachaduras nas direções em que ocorrem as deformações (SHASHOUA, 2008; WILLIAMS, 1997).



Figura 42: Escova de unha de poliestireno separada de sua base pelo dano mecânico consequente de uma queda.

Fonte: SHASHOUA, Yvonne. Conservation of plastics. 1st edition. Oxford: Butterworth Heinemann, 2008.

4.3.2.7 – Biodeterioração

Além das deteriorações químicas e físicas que atingem objetos plásticos, existem também as deteriorações biológicas, que, apesar de menos comentadas e aprofundadas em estudos, são recorrentes em materiais plásticos de diversas maneiras. A biodeterioração é causada por agentes biológicos em geral, como, por exemplo, fungos, bactérias, insetos, que resultam em deteriorações na superfície dos polímeros, também causando alterações nas suas propriedades químicas, físicas e consequentemente mecânicas.

Apesar de os agentes da biodeterioração serem beneficiados por exposição contínua a fatores externos, como altos percentuais de umidade relativa e temperatura, objetos plásticos em contexto museológico — onde todo ambiente é teoricamente controlado para a redução da proliferação dos agentes deteriorantes — também sofrem ataque dos microorganismos.

Esse fato pode ser observado no caso da obra Propagazioni, de 1997, do artista italiano Giuseppe Penone, que teve uma área propositalmente exposta a água corrente pelo próprio artista, e que por “eventos inesperados” durante um período em que foi exibida apresentou um enorme crescimento microbiológico na área molhada, além de demonstrar forte descoloração. Outro relato foi no caso de trajes espaciais utilizados nas missões Apollo, presentes no Museu Nacional do Ar e

do Espaço da Instituição Smithsonian dos Estados Unidos (National Air and Space Museum – Smithsonian Institution), que apresentaram colônias de fungos nas fibras sintéticas utilizadas nas peças, que puderam ser observadas com microscópio eletrônico de varredura (AMOBONYE et al., 2021; CAPPITELLI, PRINCIPI, SORLINI, 2006).

Um estudo de caso realizado por Cappitelli, Principi e Sorlini (2006) relata uma infestação biológica na cabine de esqui Futuro, projetada pelo arquiteto finlandês Matti Suuronen, em 1965, feita de plástico (Figura 43).



Figura 43: À esquerda: Futuro, 1965, Matti Suuronen.

À direita: Detalhe de Futuro, apresentando infestação biológica.

Fonte: CAPPITELLI, Francesca, PRINCIPI, Pamela, SORLINI, Claudia. Biodeterioration of modern materials in contemporary collections: can biotechnology help?. Trends in Biotechnology, v. 24, issue 8, 2006.

A construção, presente no Museu Die Neue Sammlung, em Munique, que tem sua parte exterior composta por poliéster reforçado com fibra de vidro, preenchido com espuma de poliéster-poliuretano, e que também conta com janelas feitas com polimetilmetacrilato (PMMA), além do interior que contém vários componentes plásticos, apresentou grande crescimento microbiano, provavelmente relacionado ao local em que estava exposta (na época do estudo), uma área externa do museu.

As análises realizadas revelaram que os microorganismos presentes eram cianobactérias e Arqueas, organismos unicelulares procariontes. As cianobactérias produzem substâncias poliméricas extracelulares, que são essenciais para a colonização de superfícies, agregação celular, e formação e estabilização de biofilme. Essas substâncias causam danos químicos, por serem capazes de quelar cátions, além de sustentar o crescimento microbiano. Dessa forma, as cianobactérias são conhecidos biodeteriogênicos de patrimônio cultural. Ainda, os Arquea também produzem enzimas que podem atacar materiais poliméricos

sintéticos, além de outras que degradam celulose (CAPPITELLI, PRINCIPI, SORLINI, 2006).

Além deste estudo de caso, existem outros estudos publicados a respeito de bioinfestações em plásticos, mas fora do contexto museológico. Além do trabalho de Potrykus et al. (2020), comentado anteriormente na seção 4.3.2, sobre a biodegradação de polipropileno em um aterro sanitário, podemos citar as publicações de LaTorre et al. (2012), que trata de cortinas de banho feitas de PVC plastificado, que estavam sofrendo deterioração biológica a partir de bactérias que degradam o plastificante presente; a publicação de Abruschi et al. (2009), a respeito da biodeterioração de filmes cinematográficas de triacetato de celulose; e a publicação de Moriyama et al. (1993), sobre objetos de PVC plastificado atingidos por biodeterioração causada por fungos em banheiros japoneses.

4.3.2.8 – Emissão de compostos orgânicos voláteis.

Dentre os processos de deterioração que os plásticos sofrem, os que resultam na emissão dos COV, seja como subproduto de uma reação, ou como resultado da deterioração dos aditivos presentes, podem ser considerados os mais preocupantes na questão da conservação (WILLIAMS, 1997, 2002).

Williams (2002) chamou de plásticos malignos todos os plásticos que ao deteriorar produzem substâncias prejudiciais que causam danos a outros objetos, quer sejam plásticos ou não, nas proximidades, além de a si próprios, como é o caso do PVC, do acetato e nitrato de celulose, do poliuretano, em particular a espuma de poliuretano, e das borrachas, principalmente as vulcanizadas. Outros plásticos e materiais poliméricos que ao deteriorar geram danos apenas a si próprios, não apresentando riscos a uma coleção inteira, Williams denominou de “plásticos benignos” (benign plastics).

O “vazamento”, a migração e a evaporação de aditivos presentes nos objetos resultam na deterioração dos plásticos, e diminuem a vida útil do material. O termo “vazamentos” se refere à extração de uma substância de um sólido por meio líquido, e migrações se referem a qualquer forma que um componente deixa um material seja por meio gasoso, líquido ou sólido. Os aditivos que migram podem evaporar dos plásticos para o ambiente, muitas vezes depositando-se na superfície dos

mesmos, na forma líquida ou sólida. No caso da deterioração dos plásticos “malignos”, os subprodutos gerados tem relação maior com a deterioração química das moléculas poliméricas, do que com a deterioração dos aditivos presentes, salvo o PVC, plástico “maligno” que emite COV por causa da deterioração de seus plastificantes (TSANG, 2010; WILLIAMS, 2002).

Os acetato e nitrato de celulose começam a deteriorar a partir da hidrólise, reação que se dá pela interação com a água (umidade relativa) no ambiente. O nitrato de celulose, ao deteriorar, produz óxidos de nitrogênio ácidos e oxidantes, que podem causar danos nos objetos próximos, processo que pode ser acelerado com a presença de altas temperaturas, umidade, e em condições ácidas. Além disso, era comum a utilização de cânfora como plastificante em objetos feitos com nitrato de celulose. Com a deterioração do material, a cânfora sublima, fazendo o objeto encolher e adquirir fragilidade, o que pode causar maior tensão, levando a rachaduras. Nitratos de celulose plastificados com substâncias menos voláteis não costumam sofrer desses danos.

No caso do acetato de celulose, a hidrólise ácida causa desacetilação no material, processo que separa grupos de acetato da cadeia polimérica principal, levando à despolimerização das macromoléculas. Dessa forma, a desacetilação causa emissão de ácido acético dos plásticos, um gás volátil, criando uma superfície ácida nos próprios objetos, e uma atmosfera igualmente ácida, quando um objeto está acondicionado em ambiente sem ventilação, o que pode gerar corrosão de metais e deteriorações catalisadas pelos ácidos em papéis e fibras têxteis. Além disso, a despolimerização do acetato de celulose leva à diminuição da resistência mecânica e à fratura, o que pode causar deformações e empenamentos. Por causa do forte cheiro emitido pelos ácidos acéticos liberados durante a deterioração do material, o processo acaba levando o nome de “síndrome do vinagre” (TSANG, 2010; WILLIAMS, 1994, 1997, 2002).

Em acervos e coleções museológicas, o poliuretano costuma estar presente na forma de espuma, revestimentos ou fibras. No caso de espumas, a estrutura física proporciona maior acessibilidade no contato com oxigênio, ar, água (umidade relativa) e radiação, tornando-as mais propícias a processos de deterioração, comparado-se a filmes, fibras e blocos do mesmo material. Além disso, o processo de produção de espumas envolve o sopro de oxigênio no poliuretano em estado

líquido, o que proporciona ainda mais deterioração por oxidação (SHASHOUA, 2008; WILLIAMS, 2002).

Existem dois tipos de espumas de poliuretano, uma baseada em polióis de poliéter, e outra, em polióis de poliéster. O primeiro grupo é mais suscetível à deterioração por oxidação, principalmente na presença de luz, processo conhecido como fotooxidação, o que causa descoloração e perda de propriedades mecânicas; enquanto o segundo grupo é mais suscetível à deterioração por hidrólise, se em alto índice de umidade relativa, resultando na saponificação dos grupos ésteres, e na formação de grupos carbonílicos e álcool. A fotooxidação leva à cisão de cadeia, gerando cadeias moleculares de menor tamanho, o que resulta no colapso e esfacelamento da espuma, tornando a deterioração cíclica até o fim definitivo da estrutura, já que as camadas deterioradas vão se desprendendo, deixando camadas intocadas expostas aos agentes deteriorantes, e assim sucessivamente. Ainda, a quebra das ligações uretano (-NHCOO-), resulta na formação de grupos amino e carbonila, com a evolução de monóxido (CO) e dióxido de carbono (CO₂), ambos gases poluentes (SHASHOUA, 2008; WILLIAMS, 2002).

Borrachas vulcanizadas são formadas quando o látex da borracha natural é misturado e aquecido com pequenas porcentagens de enxofre, ou compostos de enxofre, levando à formação de cadeias com ligação cruzada, o que resulta em borrachas elásticas (elastômeros). Borrachas duras (hard rubber), termofixos não elásticos, são formadas se a quantidade de enxofre utilizado na vulcanização é equivalente ou superior a 30%. Ambas entram na classificação de plásticos malignos já que, ao deteriorar, emitem gases de enxofre como produtos gerados pela deterioração. Tal fator apresenta alguns problemas relacionados à conservação.

Os compostos de enxofre, emitidos pelas borrachas, podem oxidar objetos metálicos de prata, formando pontos pretos, relativos à formação de sulfeto de prata (AgS), e além disso podem ser oxidados pelo oxigênio presente no ambiente, o que resulta em gases de óxido de enxofre, como SO₂, que, ao reagirem com a umidade do ar, produzem ácidos que podem permanecer em superfícies, seja a do próprio objeto ou de outros no entorno, causando danos aos materiais em contato. Borrachas duras podem também desenvolver superfícies altamente ácidas cobertas por gotículas ou filmes de ácido sulfúrico (WILLIAMS, 1997, 2002).

Como já citado, dos plásticos malignos o PVC é o que mais apresenta riscos ao ambiente e objetos próximos por causa da deterioração dos aditivos utilizados.

No seu estado bruto, o PVC é rígido e frágil, sendo necessário o uso de diversos produtos que auxiliam sua estabilização e a maior maleabilidade. Estabilizadores de calor e radiação UV são utilizados durante a fabricação, assim como plastificantes, que costumam ser líquidos orgânicos polares, que funcionam como ótimos solventes para diversos materiais. A migração destes plastificantes e aditivos em geral forma depósitos na superfície dos objetos, reação chama de *bloom* (floração em inglês), o que pode manchar ou corroer de forma grave outros materiais que entrem em contato. O fenômeno do *bloom* pode ser removido com a limpeza do material, mas pode eventualmente tornar a aparecer, já que a reação ocorre quando existe uma incompatibilidade inerente entre o plástico e o aditivo (TSANG, 2010; WILLIAMS, 2002).

Os depósitos de aditivos nas superfícies não causa danos ao próprio PVC, mas indica a deterioração do material, sendo necessário em diversos casos isolá-lo de outros objetos para não apresentar riscos a uma coleção. Além da migração dos aditivos, o PVC também sofre do contato com radiação UV e altas temperaturas, apesar de isso ser menos recorrente em contexto museológico. A exposição à luz, principalmente à ultra-violeta, leva a um processo chamado desidrocloração, que produz ácido clorídrico (HCl) e faz com que o PVC mude de cor do amarelo para o marrom ou preto (Figura 44). Esse processo é controlado com o uso de estabilizadores, mas com o tempo esses vão sendo consumidos até atingirem a exaustão, fazendo com que novas exposições aos agentes deteriorantes sejam nocivas ao material, podendo causar deterioração em uma velocidade elevada (TSANG, 2010; WILLIAMS, 2002).

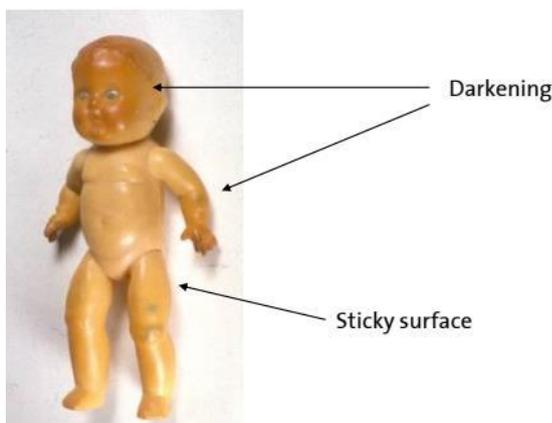


Figura 44: Boneco de PVC apresentando escurecimento (*darkening*) e superfície pegajosa (*sticky surface*) como consequência da migração de plastificante.

Fonte: KENEGHAN, Brenda. *Plastics in collections* – V&A Museum, 2007.

Lattuati-Derieux et al. (2013) realizaram estudo utilizando a técnica de microextração em fase sólida através do *headspace* combinada com a cromatografia gasosa acoplada com espectrometria de massas (HS-SPME-GC/MS) como forma não invasiva na identificação de COV emitidos por plásticos em coleções, procurando também descobrir se a identificação e análise ajudaria a caracterizar os polímeros ali presentes. Para o estudo foram utilizadas doze amostras de plásticos novos, como também três objetos plásticos naturalmente envelhecidos em museus. As amostras utilizadas eram de poliestireno, acrilonitrila-butadieno-estireno, polietileno de baixa densidade, polipropileno, polibutileno, homo e copolímero de polimetil metacrilato, náilon 6, óxido de polifenileno, poliuretano à base de poliéter e à base de poliéster, e celluloid (nitrato de celulose).

Os objetos museológicos selecionados foram um pente quebrado em várias partes, indicando estado avançado de deterioração, acondicionado em uma embalagem de polietileno; e duas espumas de poliuretano, uma de poliuretano baseado em poliéster, presente dentro de uma mala que leva o nome “La valise des nouveaux réalistes”, de Arman e outros artistas, datada de 1973, que apresentava amarelamento e perda de coesão, o que resultou em pulverização; e outra, de poliuretano baseado em poliéter, presente no encosto de uma cadeira da obra “Table et 6 chaises, module 400” de R. Tallon, datada de 1965, que parecia estar em bom estado de conservação, a partir da análise visual.

A análise das amostras dos plásticos resultou na identificação de mais de 200 COV diferentes, categorizados como não-específicos ou específicos. Os não específicos foram compostos detectados na maioria dos plásticos, ou detectados apenas uma vez. Os específicos eram referentes à natureza dos polímeros, sendo principalmente resíduos de monômeros da síntese polimérica. Os não específicos foram separados em dois grupos, o de aditivos, e o de outros compostos, no qual foram detectados cinco ácidos lineares, além de 2-etil-1-hexanol, álcool utilizado em várias sínteses químicas, considerado também como deteriorante do ftalato de bis (2-etilhexila) (DEHP), o éster de ftalato mais utilizado como plastificante de uso geral no mundo, desde 1950.

Em relação aos objetos musealizados, foram identificados isômeros de cânfora ainda se difundido na matriz polimérica do pente deteriorado. Como a cânfora foi conhecida por ser utilizada como plastificante de nitrato de celulose, pode-se confirmar que o objeto era deste material. Os resultados apresentados no

estudo puderam demonstrar que o método utilizado pode ser aplicado para a análise do COV emitidos por plásticos, como também possibilita a identificação dos polímeros presentes nos mesmos (LATTUATI-DERIEUX et al., 2013).

Um outro estudo que também utilizou do monitoramento da técnica de microextração em fase sólida com cromatografia gasosa acoplada com espectrometria de massas, realizado por Kearney et al. (2018), pôde caracterizar os COV em torno de uma réplica, de 1968, da obra “Construction in space ‘Two Cones’”, de Naum Gabo. A obra, feita majoritariamente de acetato de celulose, estava acondicionada, na época em que o estudo foi realizado, de forma frouxa em uma embalagem de armazenamento de polímero (o material não fora especificado), forrada com tecido de carvão ativado, enrolado em espuma de Plastezote (nome comercial de um tipo de espuma feita a base de polietileno com células de nitrogênio), e demonstrava estado avançado de deterioração, apresentando empenamentos, fissuras e crescimento de cristais. O experimento fora realizado duas vezes, com janelas de tempo diferentes, uma, de 24 horas, e outra, de 168 horas, a partir de fibras de microextração em fase sólida posicionadas em diversos “pontos de interesse” na obra.

Os resultados indicaram que uma exposição de 24h à obra já era suficiente para a captação de COV relacionados à composição do polímero e deterioração. COV de ácido acético e fenol, relativos ao processo de deterioração do objeto, assim como de plastificantes dietilftalato e dimetilftalato, foram identificados em cada um dos pontos de interesse onde as fibras foram posicionadas, apesar da concentração variar para cada posição. Além disso, fora observada diferença entre duas áreas de deterioração examinadas, o que sugeria diferentes processos de deterioração ocorrendo no mesmo objeto.

Uma área apresentava proporção maior de fenol para ácido acético, nas duas janelas de tempo, em comparação à outra, que apresentava maior concentração de ácido acético. Ainda, a região com maior concentração de fenol estava visualmente mais deteriorada, e exibia crescimento de cristal na superfície do polímero, enquanto a outra quase não apresentava cristais. O experimento também reforçou que o uso da técnica de microextração em fase sólida com cromatografia gasosa acoplada com espectrometria de massas é uma técnica não invasiva para essa obra e eficaz para a identificação e o monitoramento de polímeros, através da captação de compostos orgânicos voláteis liberados desses materiais, e, assim, para

investigação, principalmente de seus processos de deterioração, podendo indicar, como foi observado, diferentes deteriorações ocorrendo no mesmo material (KEARNEY et al., 2018).

Por fim, a presença de COV, além de indicar deteriorações ocorrendo em materiais poliméricos, e apresentar riscos a uma coleção, também representa um grande risco à saúde de profissionais que atuam diretamente com tais objetos, assim como de qualquer pessoa que entre em contato com objetos não musealizados que os emitem. Jai-sun Tsang (2010), profissional do Instituto de Conservação de Museus do Instituto Smithsonian (Smithsonian Institute's Museum Conservation Institute), relata que a exposição a ftalatos, utilizados como plastificante de diversos polímeros, principalmente do PVC, seja por inalação, ingestão ou exposição cutânea, aumenta os riscos de defeitos congênitos e alterações hormonais em meninos, como também problemas reprodutivos e alterações hormonais em homens adultos. Ftalatos utilizados em PVC também foram identificados como cancerígenos.

Ainda, alguns estudos também apontaram que o Bisfenol-A – outro plastificante, muito utilizado em embalagens de comida, celulares, brinquedos, entre outros, que também é um disruptor endócrino, como os ftalatos – fora identificado na urina de 93% da população dos Estados Unidos, o que sugere um altíssimo índice de contato e exposição a tais compostos (TSANG, 2010).

4.3.3 – Métodos de conservação

Quando se fala de planos de conservação de materiais modernos, presentes em obras de arte moderna e contemporânea, como também em objetos do cotidiano em contexto museológico, não é incomum um receio por parte dos profissionais responsáveis por coleções com essas características, principalmente tratando-se de plásticos – materiais poliméricos sintéticos e semi-sintéticos –. Ainda são poucos os estudos e conhecimentos difundidos a respeito de seus processo de deterioração, e formas de conservação, principalmente por serem materiais relativamente recentes, tendo sua produção industrial começado por volta de 1950 (LAVÉDRINE, RIVENC, SCHILLING, 2009; LEARNER, 2009).

Ao contrário do que o senso comum sugere, alguns materiais plásticos não possuem longevidade tão extensa, e podem se deteriorar de forma rápida e quimicamente irreversível, o que leva a um grande número de alterações nas propriedades físicas, como descoloração, opacificação, perda de brilho, fissuras, rachaduras, empenamentos, flacidez, esfacelamento, pulverização, tornar-se pegajosos. Ainda, existem os plásticos malignos – acetato e nitrato de celulose, poliuretano, PVC, e borrachas vulcanizadas – que além de sofrerem deterioração de forma mais rápida, ainda apresentam riscos a coleções inteiras, como também à saúde humana, assuntos vistos nas seções anteriores deste capítulo.

Por conta desses fatores, para se pensar a conservação de objetos e obras de arte com plásticos se faz cada vez mais urgente o estudo, aprofundamento e propagação de informações a respeito da identificação e composição dos materiais, comportamentos intermoleculares e com o meio externo e mecanismos de deterioração, além de como se pensar e aplicar métodos de conservação para tentar diminuir a velocidade das reações deteriorantes, e evitar a perda completa de tais bens culturais (LAVÉDRINE, RIVENC, SCHILLING, 2009; LEARNER; MADDEN, 2014).

Em vista disso, diversas iniciativas ao redor do mundo surgiram, buscando um aprimoramento de estudos e práticas a respeito do comportamento de deterioração e formas de conservação de plásticos em âmbito museológico. Profissionais da conservação do Museu de Arte Moderna de Nova York (MoMA), Tate Modern e Victoria & Albert Museum (V&A), em Londres, Instituto Holandês de Patrimônio Cultural (Netherlands Institute of Cultural Heritage), e Instituton Getty de Conservação (Getty Conservation Institute – GCI), em Los Angeles, tem constantemente compartilhado informações sobre novas descobertas e técnicas na área dos plásticos.

Reconhecendo a necessidade de novos desenvolvimentos no campo da conservação do material, em 1966 o Conselho Internacional de Museus (ICOM) estabeleceu um grupo de trabalho denominado Materiais Modernos e Arte Contemporânea (Modern Materials and Contemporary Art), destinado a abordar as questões urgentes da gestão de materiais plásticos em ambiente museológico (TSANG, 2010).

Outra iniciativa de grande importância na área foi a que uniu o GCI com um consórcio de instituições e laboratórios europeus, envolvidos nos cuidados e estudos

de materiais modernos e sintéticos, para desenvolver e executar um projeto financiado pela Comissão Europeia, chamado Preservação de Artefatos Plásticos Presentes em Coleções de Museus (Preservation of Plastics Artefacts in Museum Collections – POPART), que aconteceu entre 2008 e 2012.

Os objetivos centrais do projeto foram identificar os principais riscos relativos à exibição, limpeza, proteção e armazenamento de artefatos plásticos, para em seguida desenvolver estratégias para aprimorar a preservação e manutenção de objetos plásticos tridimensionais em coleções de museus. De forma mais específica, o POPART focou em quatro áreas de pesquisa:

- Análise de plásticos, visando o desenvolvimento de métodos e ferramentas para a análise do maior número possível de classes de plásticos, dando preferência a técnicas não invasivas, que não necessitam retirar amostras da obra, como espectroscopia de infravermelho próximo (NIR), espectroscopia Raman e espectroscopia de infravermelho médio por transformada de Fourier (FTIR), através de equipamentos portáteis, além da técnica microinvasiva de pirólise acoplada à cromatografia gasosa e à espectrometria de massas (Py-CG/EM);
- Pesquisa e monitoramento de condições de coleções em museus, com o objetivo de identificar e documentar padrões de deterioração típicos de objetos plásticos, a partir de levantamentos de dados de cada coleção, para então compará-los e combiná-los, criando um único formulário de levantamento;
- Avaliação de degradação de polímeros, a partir da investigação e monitoramento de processos de deterioração em plásticos, focando principalmente nos plásticos “malignos” – ésteres de celulose, PVC e poliuretano –, além do estudo dos COV e seus riscos para coleções e profissionais;
- Avaliação de tratamentos de conservação, partindo de estudos sistemáticos para analisar métodos de limpeza e seus potenciais riscos aos polímeros, além da avaliação de métodos experimentais de consolidação de artefatos muito frágeis e deteriorados.

Um dos frutos de grande relevância na questão do monitoramento da deterioração de plásticos, que resultou do projeto POPART, foi a criação de “bonecas” compostas por diversos tipos de plástico, que foram distribuídas por vários museus, que serviram para acompanhar os efeitos do ambiente ao longo do

envelhecimento natural dos materiais (LAVÉDRINE, RIVENC, SCHILLING, 2009; LEARNER; MADDEN, 2014).

4.3.3.1 – Identificação de plásticos

Como visto, um fator importante, se não essencial, ao se pensar métodos de conservação de plásticos, é a identificação e conhecimento da composição dos materiais. Como comentado ao longo deste capítulo, diferentes plásticos sofrem deterioração de formas e intensidades diversas, uns dos outros, e assim sendo, não é possível elaborar um protocolo preciso que se aplique da mesma forma a todos os tipos de plásticos existentes. Por isso, faz-se necessário que profissionais da conservação, e responsáveis por acervos, busquem métodos e análises para melhor identificar quais materiais possuem em suas coleções (LAVÉDRINE, RIVENC, SCHILLING, 2009; PEREIRA et al., 2016; SHASHOUA, 2008).

Existem diversas formas de identificar materiais poliméricos, desde as mais simples, a partir de análise visual, e informações que o próprio objeto pode oferecer, até formas destrutivas, como testes químicos, e as que necessitam de amostras para análises químicas, passando por métodos analíticos não invasivos ou destrutivos, alguns já citados anteriormente. Vale lembrar que muitos museus e instituições ainda não estão providos de instrumentos de análise para a identificação de plástico, necessitando recorrer a formas mais simples de reconhecimento. Por conta disso, essas formas serão comentadas mais a fundo, em relação aos outros tipos de análise (SHASHOUA, 2008, WILLIAMS, 2002).

Dentre os métodos simples e não destrutivos na identificação de plásticos, que podem ser realizados sem necessidade de testes nem instrumentos analíticos, existe a análise visual dos objetos. A cor e opacidade pode ser um guia de qual polímero está ali presente, apesar de não ser um método muito preciso, pelo fato de que com o envelhecimento, cargas e corantes podem alterar a aparência e textura de superfícies. Plásticos mais produzidos no começo do século XX costumavam ser aplicados para a imitação de materiais nobres. Ademais, alguns polímeros possuem uma gama de cor mais restrita, principalmente os termofixos, como o caso da Bakelite (fenol-formaldeído), que costuma se apresentar em tons preto, marrom escuro, verde ou vermelho, e possui aparência “manchada”. O polipropileno e

polietileno apresentam-se ligeiramente turvos, devido à alta cristalinidade dos polímeros que difunde a luz, enquanto outros plásticos incolores, principalmente poliésteres e o policarbonato, apresentam-se inteiramente transparentes. Igualmente em poliésteres, e resinas epóxis, a presença de fibras de vidro e carbono, usadas para aumentar a resistência à tração, enrijece os polímeros e confere textura irregular (SHASHOUA, 2008).

Outra forma de identificar plásticos, ainda dentro da análise visual, é a partir de marcas que podem estar presentes, mais em objetos cotidianos, do que em obras de arte – ou em objetos cotidianos presentes em obras de arte –, que conferem identificação exata do material, ou ao menos indicam o país de origem, fabricantes, e se o material é reciclável. No caso dos recicláveis, a Sociedade Americana da Indústria de Plásticos (American Society of Plastics Industry – SPI) desenvolveu um sistema de códigos em meados da década de 1990, no qual plásticos de embalagem podem ser identificados facilmente. O sistema também foi adotado pelos Fabricantes de Plásticos da Europa (Plastics Manufactures in Europe – APME), e também é utilizado no Brasil (Figura 45), com algumas adaptações das siglas (SHASHOUA, 2008).



Figura 45: Símbolos universais de identificação de plásticos recicláveis

Fonte: <http://www.dehonplast.com.br/tipos-de-plasticos-reciclaveis/>

Outro método simples na identificação de plásticos é a partir de odores emitidos por eles, que podem ser percebidos em temperatura ambiente, em altas temperaturas e em ambientes pouco ou não ventilados. Uma forma de teste para identificação é a partir da fricção de um *swab* seco, ou tecido limpo de algodão, na superfície de um plástico por poucos segundos, o suficiente para gerar calor e emitir odor. Alguns exemplos de odor emitidos por plásticos são: doce e frutado, para acrílicos; vinagre e papel queimado, para acetato de celulose; cabelo ou lã queimada, para nylons; cera e vela para polietileno e polipropileno; cloro, para PVCs

não plastificados, e cheiro de “carro novo” para PVCs plastificados; e nenhum odor no caso de silicones.

Uma tabela completa com a relação de plásticos e seus odores emitidos pode ser encontrada no livro “Conservation of Plastics”, de 2008, 1ª edição, escrito por Yvonne Shashoua (capítulo 5, página 119). Apesar de ser um método simples e de fácil execução, a inalação de odores de plásticos não é recomendada, considerando a saúde dos profissionais, devido ao fato de que diversos odores emitidos, por conta dos compostos voláteis, podem ser tóxicos (SHASHOUA, 2008; TSANG, 2010).

Infelizmente, salvo a identificação de polímeros a partir de marcas de reciclagem e outras informações, os métodos visuais não destrutivos não garantem uma confirmação precisa do material existente. Por conta disso, testes químicos e análises instrumentais, podendo ser não destrutivas ou minimamente destrutivas, são métodos precisos de se obter um resultado. Sobre os testes químicos, em sua grande maioria, destrutivos, podemos citar (SHASHOUA, 2008):

- Teste de densidade, colocando uma amostra do polímero em um béquer contendo um líquido de densidade conhecida, em determinada temperatura, e então analisar o comportamento do material, a depender do sua massa molecular;
- Teste de dureza, onde polietileno, polipropileno, PVC plastificado e poliuretano podem ser marcados pela simples pressão de uma unha, enquanto outros polímeros não se afetam;
- Teste de efeito ao calor, no qual se coloca uma amostra de polímero sobre uma chama e analisa tanto o comportamento do material, quanto a forma que a chama reage – acrílicos, acetato e nitrato de celulose, poliestireno, poliuretano e poliésteres continuam a queimar, enquanto nylons, policarbonato e PVCs são auto-extinguíveis;
- Testes de solubilidade, a partir da análise da interação de amostras de polímeros com alguns solventes.

Já em relação aos métodos de análise instrumental, os mais úteis, porém destrutíveis, são: pirólise acoplada à cromatografia gasosa e à espectrometria de massas (Py-CG/EM), espectroscopia de infra-vermelho por transformada de Fourier (FTIR), que atualmente possui aparelhos portáteis, não havendo a necessidade de amostras destrutivas à obras e objetos; e espectroscopia por ressonância magnética nuclear (RMN). Além desses, o método de microextração em fase sólida com

cromatografia gasosa (CG/EM), utilizado na análise de COV, comentado anteriormente, já se mostrou uma técnica analítica não destrutiva para obras e pouco invasiva que pode auxiliar na identificação de plásticos, seja pela identificação de monômeros, como de plastificantes e produtos da deterioração (BAKER, 2001; KEARNEY et al., 2018; LATTUATI-DERIEUX, et al., 2013; LAVÉDRINE; RIVENC; SCHILLING, 2009; PEREIRA, et al., 2016).

4.3.3.2 – Conservação preventiva de plásticos

A partir do momento em que se iniciam processos de deterioração em materiais plásticos, não é possível pará-los ou revertê-los, restando apenas aos profissionais da conservação elaborar métodos buscando inibir, ou retardar seus efeitos destrutivos, ou seja, para prevenir a total perda de uma obra ou objeto plástico faz-se necessário aplicar a conservação preventiva. Existem também métodos de conservação interventiva e restauração, nos quais interfere-se diretamente nos objetos, buscando repará-los, porém, tais métodos não serão contemplados neste trabalho, no qual será focado apenas a conservação preventiva, pensada para objetos plásticos em geral, em contexto museológico; conservação emergencial, no caso de objetos que a partir da deterioração apresentam riscos a coleções e profissionais; e métodos de acondicionamento e exibição (BAKER, 2001; SHASHOUA, 2008; TSANG, 2010).

4.3.3.3 – Diretrizes para conservação preventiva de plásticos em museus

A conservação preventiva para plásticos em museus é pensada de acordo com os agentes deteriorantes, anteriormente citados, que agem diretamente sobre os materiais. Dessa forma, foca-se no controle ambiental, principalmente dos fatores: umidade relativa, luminosidade e temperatura, e presença de poluentes. O controle da emissão de COV está mais relacionado aos processos de conservação emergencial, e, em relação a presença de oxigênio, que não pode ser erradicada

completamente de todo um espaço expositivo, faz-se um controle maior em relação as formas de acondicionamento e embalagens (WILLIAMS, 2002).

Em termos gerais de conservação preventiva, para materiais orgânicos sugere-se que a umidade relativa se mantenha numa média em 50%-60%, uma vez que percentuais abaixo de 50% podem causar prejuízo a esses materiais. Contudo, para alguns plásticos, como acetato e nitrato de celulose, que se deterioram por hidrólise, a partir da reação com a água na atmosfera, é importante que a umidade relativa fique em torno de 20%-30%. Em contrapartida, polímeros a base de caseína-formaldeído, que tem vapor d'água como plastificante, e plásticos sintéticos apresentam maior estabilidade nos níveis de umidade citados, entre 50%-60% (DRUMMONDS, 2006; SHASHOUA, 2008, 2014).

Como em exposições de museus e instituições existem diversos materiais presentes num mesmo espaço, o ideal seria procurar manter um valor de umidade relativa médio entre os valores ideais para cada tipo, o que, matematicamente, nesse caso, seria em torno de 30%-40%, sendo também, os valores de umidade relativa mais próximos de ideais para a conservação de filmes fotográficos e materiais compósitos que possuem plásticos em camadas finas (DRUMMOND, 2006; SHASHOUA, 2008, 2014).

É importante salientar que, para regiões tropicais, com altos percentuais de umidade relativa, é um grande desafio mantê-la em percentuais tão baixos nas instituições culturais e, conforme comentado, a diversidade de objetos culturais dificulta padrões constantes ideais. Por conta disso, é comum, dentro das diretrizes preventivas, promover microambientes específicos para materiais que precisam estar em condições ambientais diferentes do que a maioria dos objetos culturais. Assim, pode-se, em um mesmo espaço cultural, manter os bens culturais acondicionados corretamente.

Em relação à temperatura, o acondicionamento de objetos plásticos em temperaturas baixas (abaixo de 10°C) indicaria redução de processos de deterioração mais comuns, como hidrólise e oxidação, e também ajudaria a diminuir a difusão de plastificantes no PVC. Atualmente, apenas acervos de filmes fotográficos plásticos costumam ser mantidos a temperaturas realmente baixas, o que não acontece em reservas de acervos de objetos tridimensionais.

Ainda, o efeito de baixas temperaturas em plásticos pode acarretar efeitos reversíveis – como alterações nas dimensões e forças de tensão – e irreversíveis –

como falhas mecânicas. Somado a isso, plásticos amorfos se comportam de formas diferentes a depender da temperatura, em relação a seus valores de Tg, explicados no capítulo 1 (valores no Quadro 2). Em coleções, a maior parte dos plásticos presentes possuem valores de Tg acima da temperatura do ambiente, o que indica estarem enrijecidos, em estado vítreo, salvo o polietileno (Tg -20°C), polipropileno (Tg 5°C), borrachas sintéticas e PVC plástificado (Tg 20°C), que na temperatura do ambiente se encontram em estado “emborrachado”. Considerando esses fatores, e que, principalmente em espaços expostivos, o ambiente deve estar simultaneamente em condições de proteger os bens culturais, e confortável aos visitantes e profissionais, é indicada uma temperatura em torno de 20°C.

Com relação ao controle de luminosidade, é indicado manter os valores entre 50 e 200 lux, mas evitar ultrapassar 150 lux, e buscar eliminar, e quando não possível, reduzir ao máximo a radiação UV, mantendo-a abaixo de 75 microwatts/lumen, podendo-se recorrer a lâmpadas que possuam baixa emissão desta radiação (SHASHOUA, 2008, 2014; WILLIAMS, 1997).

Com relação aos poluentes na atmosfera, como dióxido sulfúrico (SO₂), dióxido de nitrogênio (NO₂) e ozônio (O₃), que podem adentrar espaços expostivos e de reserva técnica, é indicado uma boa ventilação e filtragem do ar do ambiente, e, quando não possível, o uso de adsorventes desses poluentes. Outros poluentes derivados da deterioração de plásticos “malignos” serão comentados na seção seguinte (DRUMMOND, 2006; WILLIAMS, 1997).

4.3.3.4 – Conservação emergencial

A conservação emergencial neste trabalho⁵ diz respeito aos objetos plásticos compostos por materiais chamados plásticos malignos, que ao deteriorar apresentam riscos a coleções, e à saúde de profissionais, pela emissão de COV, no caso dos nitrato e acetato de celulose, PVCs plastificados, poliuretano e borrachas vulcanizadas (WILLIAMS, 1997, 2002).

⁵ De forma ampla a conservação emergencial diz respeito a métodos de conservação e salva-guarda de qualquer patrimônio ou bem cultural que apresente avançado estágio de deterioração, precisando de urgente intervenção de caráter da conservação-estauração.

O nitrato de celulose, apesar de altamente inflamável, não costuma explodir ou entrar em combustão espontânea, se estiver em condições ambientais adequadas. Por outro lado, sua deterioração produz gases de óxido de nitrogênio, altamente ácidos e oxidantes, como óxido nitroso (N_2O), óxido nítrico (NO) e dióxido de nitrogênio (NO_2), e, se objetos compostos pelo material forem acondicionados em espaços pequenos e pouco, ou não ventilados, podem levar ao surgimento de uma atmosfera fortemente ácida, o que catalisa sua deterioração.

Somado a isso, produtos de sua deterioração também apresentam grande risco principalmente a materiais metálicos e orgânicos, sendo necessário a segregação de objetos com nitrato de celulose de outros materiais, em áreas constantemente ventiladas e com um acondicionamento a prova de fogo, além de se manter por perto equipamentos de combate a incêndios. Ainda, seu acondicionamento não pode ser enclausurado, e sim, com folga o suficiente para permitir a circulação do ar e liberar os gases provenientes da deterioração. Indica-se pelo menos uma troca de ar por dia, e o ar proveniente dessas áreas não pode circular para outros ambientes de acervo e reserva, mas sim, ser filtrado. Também é indicado o uso de adsorventes de ácidos, para buscar diminuir a concentração dos gases emitidos.

Em relação ao controle ambiental é indicado baixa umidade relativa, para evitar deterioração por hidrólise, mantendo valores abaixo de 50%, e temperatura em torno de 10°C. Havendo necessidade de transporte de objetos nessas condições, é necessário que sejam lentamente aclimatados, para não ocorrer choque térmico, e nunca ultrapassar temperaturas de 30°C – existem registros de filmes de nitrato de celulose que entraram em combustão espontânea quando em temperatura de 50°C.

Em relação à luminosidade, o nitrato de celulose apresenta amarelamento quando exposto a radiação de eletromagnética na faixa de 360-400nm, processo que, quando iniciado, continua mesmo no escuro. Além disso, radiações mais energéticas, menores que 360nm, dentro da faixa do UV, podem causar cisão de cadeia.

Por também ser muito sensível à luz visível, além da radiação UV, é indicado que não sejam expostos a iluminação maior que 50 lux. Por causa dos grandes riscos que o material apresenta a si próprio e a outros, sugere-se monitoramento constante das áreas onde estão acondicionados, para registro de suas condições

físico-químicas. Objetos que apresentam estado muito avançado de deterioração não devem ser mantidos, por apresentarem grande perigo às coleções, não havendo motivo para mantê-los, mas é interessante realizar registro de suas condições para futuras avaliações e considerações de conservação (TSANG, 2010; WILLIAMS, 1994, 1997).

De forma parecida com o nitrato de celulose, o acetato de celulose ao deteriorar, principalmente por hidrólise, sofre desacetilação e emite ácido acético ao ambiente, que possui forte cheiro que remete ao vinagre, e por conta disso sua deterioração é conhecida como “síndrome do vinagre”. As formas de conservação emergencial são as mesmas aplicadas ao nitrato de celulose, começando com a segregação de objetos feitos de acetato de celulose de outros materiais.

Como ambos materiais deterioram principalmente por hidrólise, a partir do contato com a água na atmosfera, a primeira medida ambiental é reduzir a umidade relativa do ambiente, preferencialmente abaixo de 50%, e também manter temperaturas baixas, já que isso auxilia na desaceleração dos processos de deterioração, principalmente na perda de plastificante, ajudando a manter a flexibilidade do material. Também neste caso é essencial um acondicionamento não enclausurado e bem ventilado, com filtragem do ar do ambiente, para evitar grandes concentrações de gases ácidos, que catalisam a deterioração, e objetos em estado muito avançado de deterioração também devem ser descartados, por apresentarem grande risco a outros (TSANG, 2010; WILLIAMS, 1994, 1997, 2002).

Em relação às borrachas vulcanizadas, principalmente a Ebonite, que emite ácido sulfúrico (H_2SO_4) ao ambiente, também se faz necessária a segregação de objetos deste material, de outros, em ambiente bem ventilados, ou alocadas em ambientes fechados, mas fazendo uso de adsorventes de ácidos para diminuir a concentração dos gases emitidos. Também é ideal reduzir a umidade relativa do ambiente, já que essas borrachas deterioram primeiro por oxidação, e então, reagindo com a água na atmosfera. Temperaturas muito baixas não são indicadas para borrachas, já que podem ficar extremamente rígidas e eventualmente rachar (TSANG, 2010; WILLIAMS, 2002).

Como a conservação emergencial faz os profissionais de conservação, e de outras áreas, estarem em contato direto com objetos deteriorados que emitem produtos que apresentam risco à saúde, é necessário ainda maior precaução quanto ao manuseio de tais bens. Em hipótese alguma deve se encostar diretamente em

qualquer objeto deteriorado, fazendo uso de luvas apropriadas e jalecos de laboratório. Deve-se remover as luvas antes de mexer em celulares, maçanetas e outros objetos, e nunca sair do laboratório usando esses aparatos de segurança.

Na lavagem, os jalecos devem ser limpos separadamente de outras roupas. Após o manuseio e fim dos procedimentos de trabalho, é essencial uma empenhada lavagem de mãos, para evitar ao máximo o transporte dos produtos ácidos. Além disso, nunca inalar ou “provar” plásticos, e nunca comer, beber, mascar chiclete, fumar ou aplicar maquiagem em espaço de trabalho. Por fim, é essencial que todos os profissionais envolvidos com tais materiais estejam cientes dos riscos aos quais se apresentam, e é indicado placas e informativos que expliquem os riscos existentes, como também contatos para em casos de emergência (TSANG, 2010).

4.3.3.5 – Acondicionamento

Em acervos e reservas técnicas de museus, os objetos e obras de arte costumam estar separados por seu período histórico, e não por categorias de materiais, o que acarreta um macro-clima que procura atingir uma média entre todas as necessidades de cada composição física. No caso dos objetos plásticos, o ideal seria que cada tipo pudesse estar acondicionado de acordo com suas necessidades ambientais, porém como isso costuma significar um alto custo de execução, não é comumente aplicado. O uso de adsorventes de diversos agentes de deterioração tem sido cada vez mais aplicado no acondicionamento de objetos por conservadores-restauradores, como carvão ativado, sílica gel e zeólitas. Esses adsorventes podem ser alocados dentro de um sistema de filtragem de ar, ou em envelopes de papel próximos aos objetos acondicionados (SHASHOUA, 2014).

Como muitos processos de deterioração de plásticos envolve a interação com o oxigênio presente na atmosfera, acredita-se que a remoção completa de oxigênio seja efetiva, apesar de atualmente só existirem estudos sobre o tema em relação a taxa de fissuras em borracha natural. O método tradicional para excluir o oxigênio do ambiente de acondicionamento é envolver objetos com nitrogênio, porém, para ser efetivo, é necessário uma perfeita barreira que impeça a entrada de oxigênio (SHASHOUA, 2008, 2014).

Uma opção mais conveniente encontrada por profissionais da conservação foi a adaptação de ferramentas utilizadas na indústria alimentícia, com o uso de

adsorventes de oxigênio. Ageless e Atco, que adsorvem oxigênio, são exemplos, dentre diversos outros produtos comerciais semelhantes, utilizados para inibir a oxidação e deterioração de carnes e pão durante transporte. São sachês de plástico permeável contendo partículas de ferro, que ligam o oxigênio, formando óxidos de ferro – mesmo processo que acontece quando carros enferrujam.

Para prevenir deteriorações, plásticos, também, podem ser acondicionados em embalagens transparentes impermeáveis ao oxigênio feitas de Escal, um filme plástico revestido em cerâmica, junto de adsorventes de oxigênio. Moléculas de oxigênio restante são removidas por “lavagem” dos sacos por nitrogênio antes da embalagem ser selada com calor.

Em 1991, no Museu Britânico (British Museum), cinquenta objetos, incluindo de composição plástica, foram enclausurados com adsorventes de oxigênio. Quinze anos depois, o exame visual e microscopia ótica sugeriram que – com exceção daqueles que foram acondicionados em embalagens abertas, ou inadvertidamente – a condição dos objetos se manteve praticamente inalterada, o que indica boa performance da ferramenta. Ainda assim, o estudo concluiu que os adsorventes precisam ser trocados a cada cinco anos, por ser impossível evitar o vazamento lento de ar, mesmo em embalagens bem fechadas (SHASHOUA, 2014).

Desde a década de 1990, museus tem aplicado o uso de carvão ativado para inibir a deterioração de objetos de nitrato de celulose, já que há rápida adsorção de compostos orgânicos, como os óxidos de nitrogênio emitidos pelo material quando deteriorado, porém, a “ferramenta” não adsorve água. Como o carvão ativado não muda de tonalidade ou forma quando atinge a exaustão de sua capacidade de adsorção, é recomendado frequente substituição, ou, regenerá-lo, ao ser aquecido em temperatura de 650°C.

Já a sílica gel é utilizada na redução de umidade relativa, agindo como adsorvente de água da atmosfera, também servindo de adsorvente de formaldeído e ácido acético, sendo efetiva na conservação de objetos de acetato de celulose. Também zeólitas, cristais porosos, atuam como adsorventes de água de ácido acético, como também de plastificantes presentes no acetato de celulose. Ainda no caso de objetos feitos com acetato de celulose, é indicado que sejam acondicionados em caixas de arquivo feitas de papelão, que se mostraram efetivas na redução dos processos de deterioração do material, unida à presença de adsorventes, que por

atingirem a exaustão relativamente rápido, precisam ser trocados com frequência (SHASHOUA, 2008, 2014).

Um estudo feito por Royaux et al. (2020) realizou experimento ao comparar efeitos do contato de bens culturais feitos de policloreto de vinila (PVC) plastificado ao serem acondicionados com filmes de politereftalato de etileno (PET), polietileno de baixa densidade (PEBD) e seda natural.

Para o envelhecimento artificial, amostras de PVC foram alocadas em placas de Petri de vidro fechadas, entre duas folhas de filmes de PET, PEBD e seda, aquecidas num ciclo de dois dias seguidos à temperatura de 80°C, e então por um dia à temperatura de 25°C, sob umidade relativa de +-65%, num período de 17 meses (Figura 46). Após o fim do envelhecimento artificial, foram condicionados à temperatura ambiente por 1h.

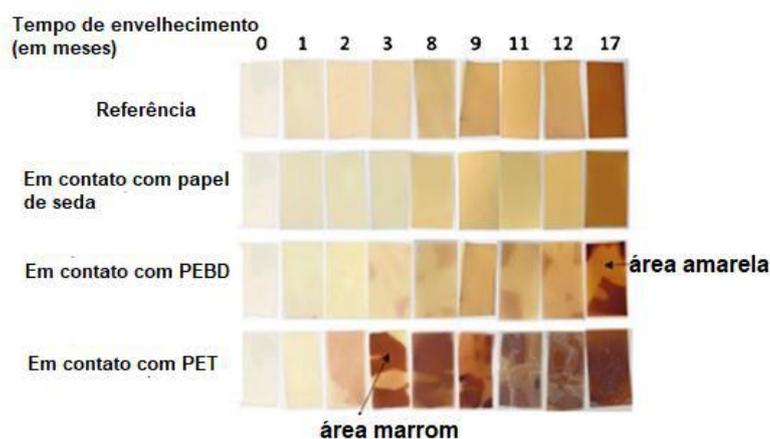


Figura 46: Efeitos do PVC plastificado artificialmente envelhecido, acondicionado com PET, PEBD e seda natural, ao longo de 17 meses.

Fonte: ROYAUX, Adeline et al. Conservation of plasticized PVC artifacts in museums: Influence of wrapping materials. *Journal of Cultural Heritage*, vol. 46, pp. 131-139, 2020. Tradução da autora.

Já no primeiro mês do experimento os filmes de PET E PEBD apresentaram leve aderência ao PVC, também causando aprisionamento de bolhas de ar, fenômenos que não aconteceram nas amostras com seda natural. Em relação a mudança de coloração, tanto a amostra que não teve contato com nenhum filme, para referência, quanto a que teve contato com a seda natural, apresentaram mudança gradual, atingindo tonalidade marrom apenas no último mês do experimento, enquanto que as em contato com o PEBD e PET apresentaram alterações na cor em torno de 2-3 meses, o que é ainda mais visível na amostra com

PET, que começou a apresentar a coloração marrom já no 4º mês, onde as áreas ainda amarelas representavam locais onde ficaram presas bolhas de ar.

Ainda, após 8 meses de experimento, os filmes de PET aderiram por completo à amostra, sendo impossível sua remoção sem danificar a superfície do PVC. Os resultados evidenciaram que o uso desses materiais poliméricos sintéticos acelera os processos de deterioração do PVC plastificado, não sendo indicados como materiais para acondicionamento de bens culturais que tenham essa composição (ROYAUX, et al., 2020).

Com relação à temperatura de acondicionamento de objetos plásticos em acervos e reservas técnicas, quanto menor o valor, maior a desaceleração dos processos deteriorante aos quais estão submetidos. Da mesma forma que acontece com alimentos em freezers, manter plásticos em temperaturas de -20°C tem sido um método de baixo custo para a preservação de materiais. Nesta temperatura, por exemplo, a migração de plastificantes do PVC é reduzida mais de 10 vezes. Por outro lado, em temperaturas muito baixas plásticos sofrem mudanças reversíveis e irreversíveis, como encolhimento inevitável, e mudanças na estrutura química, respectivamente. Enquanto as irreversíveis não tem como ser reparadas, plásticos que encolhem podem tornar a forma normal se reaquecidos. A contração e encolhimento tem impacto ainda maior em objetos compósitos, formados por diferentes categorias de materiais (polímeros, metais, etc), já que no frio, cada material ali presente irá reagir a sua maneira, mas, ao mesmo tempo, será, em algum grau, restringido pelos outros.

Por conta disso, uma temperatura de até 10°C já é indicada para reduzir e desacelerar deteriorações. Além desses fatores, é necessário se considerar a redução da umidade presente no ar frio, sendo indicado manter diferença de $6-10^{\circ}\text{C}$ entre um plástico e sua embalagem, para evitar condensação, o que pode ser alcançado envolvendo o plástico com material isolante, como pedaços de espuma de poliestireno, além do uso de adsorventes de umidade, anteriormente citados (SHASHOUA, 2014).

Analisada ao longo deste capítulo, a conservação de bens culturais plásticos apresenta diversos desafios para profissionais da conservação e restauração, pelo fato de existir uma grande variedade de materiais plásticos, cada um reagindo ao meio externo e sofrendo deterioração de formas diferentes. Muitas vezes, inclusive, um objeto plástico já iniciou um processo de deterioração antes mesmo de adentrar

uma coleção, e por ainda não indicar visualmente tais mecanismos, não é imediatamente tratado por métodos que auxiliariam na redução e desaceleração das deteriorações.

Por conta desses fatores, é extremamente necessário que os profissionais responsáveis por acervos plásticos saibam aplicar métodos de identificação de materiais, para que assim possam analisar possíveis deteriorações que os objetos estejam sofrendo, como também pensar os melhores métodos aplicados para a conservação desses bens, afinal, tratando-se de plásticos, não existe um protocolo pronto de mecanismos de conservação, e sim, diversos fatores e condições que precisam ser consideradas, estudadas e analisadas.

CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS E PERSPECTIVAS

5- Considerações Finais e Perspectivas

Conforme exposto ao longo deste trabalho, materiais poliméricos sintéticos, chamados de plásticos, estão presentes na vida cotidiana há aproximadamente um século, tendo sua produção a nível industrial iniciado em meados de 1950, após a Segunda Guerra Mundial.

Utilizados como partes ou totalidade de obras de arte desde as primeiras décadas do século XX, os plásticos já podem ser encontrados em diversos acervos museológicos no Brasil, e no mundo, sendo inclusive difícil de existir coleções que não possuam um único elemento plástico, já que o material foi, e é até hoje, fabricado em diversas formas para inúmeras aplicações, desde fibras para a confecção de tecidos, passando por embalagens de produtos e alimentos, itens domésticos, até componentes nas indústrias automobilística, aérea e aeroespacial.

Como visto no capítulo 4, a pesquisa realizada – a partir de um levantamento bibliográfico que contou com vários artigos científicos na área de polímeros, principalmente – pôde identificar e apresentar diversos fatores que contribuem para os mecanismos de deterioração de plásticos, como a presença de água na atmosfera, radiação UV, temperatura, presença de oxigênio, poluentes ambientais, ataques biológicos, além da emissão de COV pelos próprios plásticos, quando esses já estão em processo de deterioração, como é o caso dos plásticos “malignos”: os ésteres de celulose semi-sintéticos, o PVC plastificado, o poliuretano e a borracha vulcanizada.

Em seguida, foram apresentados métodos de conservação preventiva – com relação ao controle ambiental das reservas técnicas, conservação emergencial – com relação aos citados plásticos “malignos”, que ao apresentar emissão de compostos orgânicos voláteis necessitam ser isolados de outras peças das coleções, e formas de acondicionamento em reservas técnicas – onde foi comentado o uso de substâncias que atuam como adsorventes para diversos agentes de deterioração, como água, oxigênio, gases poluentes, além de formas de armazenamento e controle climático.

A pesquisa explicitou, principalmente nos capítulos 1 e 4, que a palavra plástico é utilizada de forma genérica para denominar materiais poliméricos sintéticos com diversas composições, podendo ser moléculas “simples”, como é o

caso do polietileno ($[\text{CH}_2\text{-CH}_2]_n$), até moléculas grandes e complexas, como é o caso dos ésteres de celulose. Dessa forma, diferente de telas à óleo, ou esculturas de mármore, por exemplo, que tendem a apresentar os mesmos mecanismos de deterioração, por serem feitos do mesmo material, cada tipo de plástico é afetado de forma específica pelos agentes deteriorantes, por conta de suas diferentes estruturas químicas, como no caso de poliésteres e poliuretanos que tendem a absorver água na presença de alto índice de umidade, enquanto o polipropileno não costuma ser afetado.

Por esses fatores, a pesquisa enfatizou a necessidade da identificação de plásticos – visto no capítulo 4, seção 4.3.3.1 –, a partir de diversos métodos, como etapa fundamental no processo de conservação, já que é essencial conhecer a fundo os materiais que se pretende conservar, afinal, esse processo pode ser definido como uma análise e conseguinte prevenção das interações químicas que podem ocorrer entre os agentes ambientais e os objetos plásticos, que podem induzir mecanismos de deterioração.

O capítulo 2 evidenciou que, mesmo com a falta de informação, ou negação de profissionais responsáveis, materiais plásticos encontram-se presentes em acervos museológicos, tanto na forma de objetos históricos – roupas, utensílios, aparelhos – quanto na forma de obras de arte, produzidas desde o começo do século XX. Dessa forma, é crucial que a conservação pensada especificamente para esses materiais modernos seja implementada em planos de conservação das instituições com coleções com este perfil, e que estes deixem de ser pensados e tratados da mesma forma que se pensa a conservação de materiais tradicionais, afinal, como comentado, além de existir diferentes tipos de plástico, que deterioram de formas distintas, alguns deles podem acabar danificando outros objetos, durante seu processo de deterioração.

Além disso, segundo o que a pesquisa apresentou, quando plásticos dão indícios visíveis ou olfativos de que estão em processo de deterioração significa que este já está em nível avançado. Assim, o cuidado e a conservação de plásticos deve ser pensada e executada com grande cautela e atenção, levando em conta suas minúcias e fragilidades, e sempre que possível implementar uma revisão periódica de alta frequência para se analisar o estado em que os materiais plásticos se apresentam, de acordo com a forma e o ambiente nos quais estão acondicionados.

A pesquisa apresentada atingiu os objetivos propostos, que eram: averiguar os desafios da conservação de plásticos em ambiente museológico, partindo da investigação de formas de deterioração, e então, apresentando propostas de conservação, e a contribuição com pesquisas no tema dentro da área da conservação e restauração, e dentro da língua portuguesa.

Por ser um trabalho de conclusão de curso de graduação, não sendo possível estender sua produção por muito tempo, alguns pontos mais detalhados não puderam ser abordados, como profunda explicação das formas de identificação de plástico a partir de análises instrumentais, que foram superficialmente comentadas na seção 4.3.3.1, ou até mesmo análises práticas de formas de deterioração que atingem materiais plásticos em museus.

Destaca-se aqui a necessidade da continuação desta pesquisa realizando uma extensão da mesma em um trabalho de pós-graduação na área química, focando em um polímero específico, preferencialmente algum dos chamados plásticos malignos, para investigar seus mecanismos de deterioração e ação agressiva a outros objetos a partir da emissão dos COV (abordados na seção 4.3.2.8), e de que forma seria possível reduzir os danos causados a ele mesmo e a outros materiais, também englobando a área da conservação e restauração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRUSCI, C., et al. Biodeterioration of cinematographic cellulose triacetate by *Sphingomonas paucimobilis* using indirect impedance and chemiluminescence techniques. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 63, issue 6, pp. 759-764, 2009.

AMOBONYE, Ayodeji, et al. Plastic biodegradation: Frontline microbes and their enzymes. *Science of the Total Environment*, v. 759, 2021.

ANDRADY, Anthony L; NEAL, Mike A. Applications and societal benefits of plastics. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. v. 364, Issue 1526, pp. 1977-1984, 2009. Disponível em <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.2008.0304>. Último acesso em 17 de dezembro de 2020.

ARGAN, Giulio Carlo. *Arte Moderna*. 1ª edição. São Paulo: Companhia das Letras, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PLÁSTICO (ABIPLAST). Perfil 2019. Disponível em <http://www.abiplast.org.br/publicacoes/perfil2019/>. Último acesso em 17 de dezembro de 2020.

BAKER, Mary T. Polymers in Museums. In: BAKER, Mary T.; CARDAMONE, Jeanette M. (Ed). *Historic Textiles, Papers, and Polymers in Museums*. Washington: American Chemical Society, 2001. Pp: 128-135

BANN, Stephen (org). *The Tradition of Constructivism*, 1st edition, New York: The Viking Press, 1974.

BIBER, Nicolas F. A.; FOGGO, Andy; THOMPSON, Richard C. Characterising the deterioration of different plastics in air and seawater. *Marine Pollution Bulletin*, v. 141, pp 595-602. 2019

BIJKER, Wiebe E. The social construction of Bakelite: Toward a theory of invention. In: BIJKER, Wiebe E; HUGHES, Thomas P; PINCH, Trevor (org). The social construction of technological systems. Cambridge: The MIT Press, 1993. Pp. 159-187.

BIJKER, Wiebe E. The Fourth Kingdom: The Social Construction of Baekelite. In: BIJKER, Wiebe E.; CARLSON, W. Bernard; PINCH, Trevor (org). Of Bycycles, Baekelites and Bulbs. Cambridge: The MIT Press, 1995. Pp. 101-197.

BRAUN, Dietrich et al. Polymer synthesis: Theory and practice – Fundamentals, methods, experiments. 5th edition. New York: Springer, 2013.

BRITO, Ronaldo. Neoconcretismo – Vértice e ruptura do projeto construtivo brasileiro. São Paulo: Cosac & Naify, 1999

BRYDSON, J. A. Plastics Materials. 7th edition. Oxford: Butterworth Heinemann, 1999.

CÂNDIDO, Maria Inez. Documentação Museológica. In: Ministério da Cultura (org). Cadernos de Diretrizes Museológicas, 2^a edição, 2006. Pp: 31-90.

CANEVAROLO JR, Sebastião V. Ciência dos polímeros. 2^a edição. São Paulo: Artilber Editora, 2006.

CANGEMI, José Marcelo; NETO, Salvador Claro; SANTOS, Antonia Marli dos. Poliuretano: De Travesseiros a Preservativos, um Polímero Versátil. Química Nova na Escola, v. 31, N° 3, pp. 159-164, agosto de 2009. Disponível em http://qnesc.sbg.org.br/online/qnesc31_3/02-QS-3608.pdf. Último acesso em 17 de dezembro de 2020.

CAPPITELLI, Francesca, PRINCIPI, Pamela, SORLINI, Claudia. Biodeterioration of modern materials in contemporary collections: can biotechnology help?. Trends in Biotechnology, v. 24, issue 8, 2006.

COSTA, Evanise Pascoa. Princípios Básicos da Museologia. Curitiba, 2006.

DAUVERGNE, Peter. The power of environmental norms: marine plastics pollution and the politics of microbeads. *Environmental Politics*, v. 27, Issue 4, pp. 579-597, 2018. Disponível em <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09644016.2018.1449090?scroll=top&needAccess=true>. Último acesso em 17 de dezembro de 2020.

DONATO, Mario. O mundo dos plásticos. São Paulo: Goyana S.A. 1972

DRUMMOND, Maria Cecília de Paula. Preservação e Conservação em Museus. In: MINISTÉRIO DA CULTURA (org). *Cadernos de Diretrizes Museológicas*, 2ª edição, 2006. Pp: 109-135.

Exposição no CCBB embala público a vácuo e esmaga visitantes em dois balões infláveis. *Jornal EXTRA*. Publicado em 13/04/18. Disponível em <https://extra.globo.com/tv-e-lazer/exposicao-no-ccbb-embala-publico-vacuoesmaga-visitante-em-dois-baloes-inflaveis-22585420.html>. Último acesso em 19 de dezembro de 2020.

FIEDLER, Jeannine. Moholy-Nagy. 1st edition. New York: Phaidon Press, 2001.

FRANÇA, Conceição Linda de. Acervos de obra de arte em plástico: perfil das coleções e propostas de conservação para conservação destes bens. Dissertação (mestrado em Artes Visuais) – Escola de Belas Artes, Universidade Federal de Belo Horizonte. Belo Horizonte, 2010.

FRIED, Joel R. *Polymer science & technology*. 3rd edition. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2014.

GALENSON, David W. Pricing revolution: From abstract expressionism to pop art. *Research in Economics*, v. 72, Issue 1, pp.86-100, 2018.

HAMBURGER, Alex. Márcia X. Burger. Revista Concinnitas, Rio de Janeiro, v. 1, n. 24, julho de 2014. Disponível em <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/concinnitas/issue/view/886/showToc>. Último acesso em 17 de dezembro de 2020.

HARPER, Charles A; PETRIE, Edward M. Plastics materials and processes – A concise encyclopedia. 1st edition. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc. 2003.

JAMBECK, Jenna R. et al. Plastic waste inputs from land into the ocean. Science Mag, v. 347, Issue 6223, pp. 768-771, 2015. Disponível em <https://science.sciencemag.org/content/347/6223/768#:~:text=By%20linking%20worldwide%20data%20on,million%20MT%20entering%20the%20ocean>. Último acesso em 17 de dezembro de 2020.

JUSTO, Amanda. Opressões de gênero na obra de Márcia X. Trabalho de conclusão de curso (graduação em artes cênicas). Faculdade de artes cênicas, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2013. Disponível em <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/125919/Opress%C3%B5es%20de%20g%C3%AAnero%20na%20obra%20de%20M%C3%A1rcia%20X%20-%20Amanda%20Justo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Último acesso em 17 de dezembro de 2020.

KEARNEY, Mark, et al. Characterisation of VOCs Surrounding Naum Gabo's *Construction In Space 'Two Cones'*, (Tate) by *in situ* SPME GC-MS Monitoring. Studies in Conservation, v. 63: sup1, pp: 369-371, 2018.

KENEGHAN, Brenda. Plastics? Not in my collection. Conservation Journal, issue 21, outubro de 1996. Disponível em <http://www.vam.ac.uk/content/journals/conservation-journal/issue-21/plastics-not-in-my-collection/>. Último acesso em 17 de dezembro de 2020.

KENEGHAN, Brenda. Plastics preservation at the V&A. Conservation Journal, issue 50, 2005. Disponível em <http://www.vam.ac.uk/content/journals/conservation->

[journal/issue-50/plastics-preservation-at-the-v-and-a/](#). Último acesso em 17 de dezembro de 2020.

KNOT, Marjolijn, MULDER, Karel. PVC plastic: a history of systems development and entrenchment. *Technology in society*, v. 23, Issue 2, pp. 265-286, 2001.

LATORRE, Isomar, et al. PVC biodeterioration and DEHP leaching by DEHP-degrading bacteria. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 69, pp. 73-81, 2012.

LATTUATI-DERIEUX, Agnès, et al. What do plastics emit? HS-SPME-GC/MS analyses of new standard plastics and plastics objects in museum collections. *Journal of Cultural Heritage*, v 14, issue 3, pp. 238-247, 2013.

LAVÉDRINE, Bertrand; RIVENC, Rachel; SCHILLING, Michael. POPART – An International Research Project on the Conservation of Plastics. *Conservation Perspective – The GCI Newsletter*, v, 24, n. 2, pp. 10-12, 2009. Disponível em https://www.getty.edu/conservation/publications_resources/newsletters/24_2/, último acesso em 8 de fevereiro de 2021.

LEARNER, Thomas J. S. Modern and Contemporary Art – New Conservation Challenges, Conflicts and Considerations. *Conservation Perspective – The GCI Newsletter*, v. 24, n. 2, pp. 5-8, 2009. Disponível em https://www.getty.edu/conservation/publications_resources/newsletters/24_2/, último acesso em 8 de fevereiro de 2021.

LEARNER, Tom; MADDEN, Odile. Preserving Plastics - An Evolving Material, a Maturing Profession. *Conservation Perspective – The GCI Newsletter*. v. 29, n. 1, pp. 4-9, 2014. Disponível em https://www.getty.edu/conservation/publications_resources/newsletters/29_1/, último acesso em 8 de fevereiro de 2021.

LUCIE-SMITH, Edward. Pop Art. In: STANGOS, Nikos (org). *Conceitos da Arte Moderna*. 2ª edição. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor. 1991. Pp: 160-169.

MACHADO, Tiago; ZACARIAS, Gabriel. Novo Realismo e Internacional Sionista: um estudo do questionamento da imagem pictórica pelas neovanguardas francesas. Domínios da Imagem, Londrina, v. III, n. 5, pp. 67-82, novembro de 2009. Disponível em

<https://www.ifch.unicamp.br/eha/atas/2017/Helder%20Manuel%20da%20Silva%20de%20Oliveira.pdf>. Último acesso em 17 de dezembro de 2017.

MAGALHÃES, Ana. César BALDACCINI. Acervo: Outras abordagens, São Paulo, v. II, 2ª edição pp. 18-19, 2015. Disponível em <http://www.livrosabertos.sibi.usp.br/portaldelivrosUSP/catalog/book/380>. Último acesso em 17 de dezembro de 2020.

MANO, Eloisa Biasotto; MENDES, Luis Claudio. Introdução a polímeros. 2ª edição. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2004.

MARIANO, Camilla Vitti. Materiais plásticos no acervo da Pinacoteca do Estado de São Paulo: A Fonte das Nanás de Niki de Saint Phalle. Dissertação (mestrado em Artes Visuais) – Escola de Belas Artes, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2012.

MARTINS, Allison David de Oliveira. Indústria de transformação de plásticos. Informe técnico ETENE - do Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste. Ano VIII, n.2, agosto de 2014. Disponível em https://www.bnb.gov.br/documents/88765/89729/iis_ano8_n02_2014_plasticos_v2.pdf. Último acesso em 17 de dezembro de 2020.

MARTUSCELLI, Ezio. The chemistry of degradation and conservation of plastic artefacts – of pre-synthetic “era” based on natural or artificial polymers. Firenze: Paideia Firenze, 2010.

MATCHINSKE, Fernanda de Tartler. O percurso do objeto pela trilogia museológica como estratégia de conservação preventiva: musealização, pesquisa e gestão em acervos com objetos de plástico em museus públicos no RS, Brasil. Dissertação

(mestrado em Museologia e Patrimônio) – Faculdade de Biblioteconomia e Comunicação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2019.

MOHOLY-NAGY, Sybil. Moholy-Nagy – Experiment in Totality, 1st edition. New York: Harper & Brothers, 1950.

MOLDERINGS, Hebert. László Moholy-Nagy: fotografies, photomontages, photogrames. Paris: Nathan Editions. 1998.

MORIYAMA, Yasushi, et al. Examination of fungal deterioration on plasticized polyvinyl chloride by cryo-scanning electron microscopy. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 31, issue 3, 1993.

Museum definition. International Council of Museums, 2007. Disponível em [https://icom.museum/en/resources/standards-guidelines/museum-definition/#:~:text="A%20museum%20is%20a%20non,of%20education%2C%20study%20and%20enjoyment](https://icom.museum/en/resources/standards-guidelines/museum-definition/#:~:text=)., último acesso em 8 de fevereiro de 2021.

MUÑOZ-CAMPOS, Paloma. Área de Conservação e Restauro. In: Grupo Espanhol do International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works (org). *Conservação preventiva e procedimentos em exposições temporárias*, 2012. Pp: 77-84.

OAKLEY, Victoria; THEN, Edward. A survey of plastics objects at The Victoria & Albert Museum. *Conservation Journal*, Issue 6, janeiro de 1993. Disponível em <http://www.vam.ac.uk/content/journals/conservation-journal/issue-06/a-survey-of-plastic-objects-at-the-victoria-and-albert-museum/>. Último acesso em 17 de dezembro de 2020.

OLIVEIRA, Helder Manuel da Silva de. Alberto Burri (1915-1995) e a Bienal de São Paulo. In: *Encontro de História da Arte*, XII, 2017, Campinas. Os Silêncios na História da Arte, Campinas: UNICAMP, 2017, pp. 314-320. Disponível em <https://www.ifch.unicamp.br/eha/atas/2017/Helder%20Manuel%20da%20Silva%20de%20Oliveira.pdf>. Último acesso em 17 de dezembro de 2020.

OSTERWOLD, Tilman. Pop Art. 1ª edição. Taschen, 2007.

PEREIRA, A. et. al. Non-invasive methodology for the identification of plastic pieces in museum environment — a novel approach. *Microchemical Journal*, v. 124, pp. 846-855, 2016. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/journal/microchemical-journal/vol/124/suppl/C?page=2>. Último acesso em 17 de dezembro de 2020.

PLASTICSEUROPE. Plastics – The Facts, 2017. Disponível em <https://www.plasticseurope.org/en/resources/publications/274-plastics-facts-2017>. Último acesso em 17 de dezembro de 2020.

PLASTICSEUROPE. Plastics – The Facts, 2018. Disponível em https://www.plasticseurope.org/application/files/6315/4510/9658/Plastics_the_facts_2018_AF_web.pdf. Último acesso em 17 de dezembro de 2020.

PLASTICSEUROPE. Plastics – The Facts, 2019. Disponível em https://www.plasticseurope.org/application/files/9715/7129/9584/FINAL_web_version_Plastics_the_facts2019_14102019.pdf. Último acesso em 17 de dezembro de 2020.

POTRYKUS, Marta et al. Polypropilene structure alteration after 5 years of natural degradation in a waste landfill. *Science of the Total Environment*. Novembro de 2020.

Produção industrial cresce em 8% em julho, com alta inédita de 25 dos 25 setores. Agência de Notícias do IBGE, publicada em 03/09/2020. Disponível em <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/28762-producao-industrial-cresce-8-em-julho-com-alta-inedita-em-25-dos-26-setores>. Último acesso em 17 de dezembro de 2020.

RADFORD, Maille. Naum Gabo and the Utopian Potential of Plastics. *The Bowdoin Journal of Art*, Brunswick, vol. III, 2017. Disponível em [https://bowdoin.academia.edu/BowdoinJournalofArt/Vol-III-\(2017-Essays\)](https://bowdoin.academia.edu/BowdoinJournalofArt/Vol-III-(2017-Essays)). Último acesso em 19 de dezembro de 2020.

RAVVE, A. Principles of polymers chemistry. 3rd edition. New York: Springer, 2012.

RESTANY, Pierre. Os Novos Realistas. 1^a edição. Editora Perspectiva. 2011.

RODRIGUEZ, A.K, et al. Effects of UV-aging on the mechanical and fracture behavior of low density polyethylene. Polymer Degradation and Stability, v. 180, 2020

ROYAUX, Adeline et al. Conservation of plasticized PVC artifacts in museums: Influence of wrapping materials. Journal of Cultural Heritage, vol. 46, pp. 131-139, 2020.

RUSTEMEYER, Paul. History of CA and Evolution of the Markets. Macromolecular Symposia, v. 208, Issue 1, pp. 1-6, 2004. Disponível em <https://onlinelibrary.wiley.com/toc/15213900/2004/208/1>. Último acesso em 17 de dezembro de 2020.

SÁ, Alexandre. Márcia X – uma antibiografia. Revista Concinnitas, Rio de Janeiro, v. 1, n. 24, julho de 2014. Disponível em <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/concinnitas/issue/view/886/showToc>. Último acesso em 17 de dezembro de 2020.

SENKO, Elaine. Vik Muniz (1961-): a percepção íntima da arte através de Andy Warhol (1928-1987). Revista Vernáculo, Curitiba, n. 31, p.129-146, 2013. Disponível em <https://revistas.ufpr.br/vernaculo/article/view/26754>. Último acesso em 17 de dezembro de 2020.

SHASHOUA, Yvonne. Conservation of plastics. 1st edition. Oxford: Butterworth Heinemann, 2008.

SHASHOUA, Yvonne. A Safe Place – Store Strategies for Plastics. . Conservation Perspective – The GCI Newsletter. v. 29, n. 1, pp. 13-15, 2014. Disponível em

https://www.getty.edu/conservation/publications_resources/newsletters/29_1/, último acesso em 8 de fevereiro de 2021.

TEIXEIRA, Amanda Gatinho. Um olhar sobre a poética dos parangolés de Hélio Oiticica. *Arteriais*, Belém, v. 3, n. 4, 2017. Disponível em <https://periodicos.ufpa.br/index.php/ppgartes/article/view/4863>. Último acesso em 17 de dezembro de 2020.

TVARDOVSKAS, Luana Saturnino. Corpo e erotismo na produção visual de Márcia X. *Encontro de História da Arte*, III, 2007, Campinas. *História da arte e instituições culturais: Perspectivas em debate*, Campinas: UNICAMP, 2007, pp. 664-677. Disponível em <https://www.ifch.unicamp.br/eha/atasIIleha.html#T>. Último acesso em 17 de dezembro de 2020.

TSANG, Jai-sun. Safe handling of plastics in a museum environment. *WAAC Newsletter*, v.32, n. 10, pp 16-22. Disponível em <https://cool.culturalheritage.org/waac/wn/wn32/wn32-2/wn32-204.pdf>. Último acesso em 17 de dezembro de 2020.

WILLIAMS, Scott. Display and storage of Museum Objects Containing Cellulose Nitrate. *CCI Notes* 15/3. Canadá, 1994. Disponível em http://publications.gc.ca/collections/collection_2011/pc-ch/NM95-57-15-3-1994-eng.pdf, último acesso em 8 de fevereiro de 2021.

WILLIAMS, Scott. Care of objects made from rubber and plastic. *CCI Notes* 15/1. Canadá, 1997. Disponível em <https://www.canada.ca/en/conservation-institute/services/conservation-preservation-publications/canadian-conservation-institute-notes/care-rubber-plastic.html>, último acesso em 8 de fevereiro de 2021.

WILLIAMS, Scott. Care of plastics: Malignant plastics. *WAAC Newsletter*, v. 24, n. 2, 2002. Disponível em <https://cool.culturalheritage.org/waac/wn/wn24/wn24-1/wn24-102.html>, último acesso em 8 de fevereiro de 2021.

WORLD WIDE FUND FOR NATURE (WWF). Brasil é o 4º país que mais gera lixo plástico, 2019. Disponível em <https://www.wwf.org.br/?70222/Brasil-e-o-4-pais-do-mundo-que-mais-gera-lixo-plastico>. Último acesso em 17 de dezembro de 2020.

WORLD ECONOMIC FORUM. The New Plastics Economy – Rethinking the future of plastics, 2016. Disponível em http://www3.weforum.org/docs/WEF_The_New_Plastics_Economy.pdf. Último acesso em 17 de dezembro de 2020.

WORLD ECONOMIC FORUM. This tiny pacific island is officially the most plastic-polluted place on earth, 2017a. Disponível em <https://www.weforum.org/agenda/2017/05/the-untouched-south-pacific-island-choking-on-38-million-bits-of-plastic/>. Último acesso em 17 de dezembro de 2020

WORLD ECONOMIC FORUM. India has banned all forms of disposable plastic in its capital, 2017b. Disponível em <https://www.weforum.org/agenda/2017/03/india-bans-disposable-plastic-in-delhi/>. Último acesso em 17 de dezembro de 2020.

SITES CONSULTADOS

<http://www.abiplast.org.br>

<https://acervo.mac.usp.br/acervo/>

https://www.getty.edu/conservation/publications_resources/newsletters/index.html

<https://www.karandash.com.br/pt/Museu>

<https://macfeira.wordpress.com>

<http://www.mac.pr.gov.br/Pagina/Obras>

<https://mam.org.br/colecao/>

<https://mam.org.br/artista/nitsche-marcello/>

<https://masp.org.br/acervo>

<https://mam.rio/artes-visuais/>

<http://www.memoria.pr.gov.br/biblioteca/index.php>

<https://www.moma.org/artists/27445>

<https://www.moma.org/artists/6246>

<http://museus.cultura.gov.br>

<https://museubispodorosario.com/acervo/>

<https://www.plasticseurope.org/en/resources/publications>

<http://plone.ufpb.br/reumus/contents/menu/nucleo-de-arte-contemporanea-nac>

<https://popart-highlights.mnhn.fr/introduction/the-popart-project/index.html>