



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DOS
MATERIAIS

COMPÓSITOS DE POLICLORETO DE VINILA E CORTIÇA: AVALIAÇÃO DA
MORFOLOGIA E DE PROPRIEDADES MECÂNICA, TÉRMICA E ELÉTRICA

Mestrando: Pedro José Gomes Rodrigues
Orientadora: Profa. Dra. Tatianny Soares Alves
Co-Orientadora: Profa. Dra. Joyce Batista Azevedo

Teresina - Piauí

2017

PEDRO JOSÉ GOMES RODRIGUES

COMPÓSITOS DE POLICLORETO DE VINILA E CORTIÇA: AVALIAÇÃO DA MORFOLOGIA E DE PROPRIEDADES MECÂNICA, TÉRMICA E ELÉTRICA

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais da Universidade Federal do Piauí – UFPI, como requisito complementar à obtenção do título de Mestre em Ciência dos Materiais.

ORIENTADORA: Profa. Dra. Tatianny Soares Alves

CO-ORIENTADORA: Profa. Dra. Joyce Batista Azevedo

Teresina-Piauí

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Serviço de Processamento Técnico da Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Comunitária Jornalista Carlos Castello Branco

R.696c Rodrigues, Pedro José Gomes.
Compositos de policloreto de vinila e cortiça : avaliação da morfologia e de propriedades mecânica, térmica e elétrica / Pedro José Gomes Rodrigues. – 2017.
84 f.

Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2017.
“Orientadora: Prof. Dr. Tatianny Soares Alves”.
“Co-Orientadora: Prof. Dr. Joyce Batista Azevedo”.

1. Policloreto de Vinila. 2. Ciência dos Materiais. 3. Cortiça.
4. Compositos. I. Título.

CDD 668.423 6

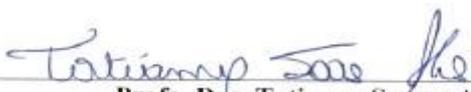
PEDRO JOSÉ GOMES RODRIGUES

**COMPÓSITOS DE POLICLORETO DE VINILA E CORTIÇA: AVALIAÇÃO DA
MORFOLOGIA E DE PROPRIEDADES MECÂNICA, TÉRMICA E ELÉTRICA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais da Universidade Federal do Piauí – UFPI, como requisito complementar à obtenção do título de Mestre em Ciência dos Materiais.

Aprovada em: 25/01/2017

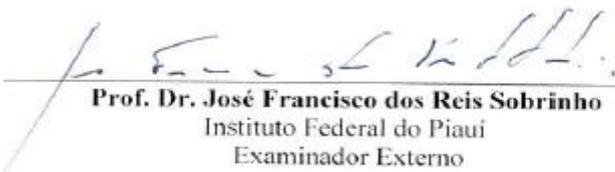
Banca Examinadora:



Profa. Dra. Tatianny Soares Alves
Universidade Federal do Piauí
Orientadora



Profa. Dra. Renata Barbosa
Universidade Federal do Piauí
Examinadora Interna



Prof. Dr. José Francisco dos Reis Sobrinho
Instituto Federal do Piauí
Examinador Externo

Teresina-Piauí

2017

DEDICATÓRIA

Ao meu bom DEUS!

A minha esposa Larice Íris, pelo apoio e amor incondicional.

Aos meus pais Paulo Rodrigues e Maria do Socorro e irmãos Arnon e Paulo Henrique pela motivação, carinho e apoio.

AGRADECIMENTOS

A **Deus** por ter me dado coragem e saúde para enfrentar as dificuldades.

Ao meu pai **Paulo Rodrigues** e minha mãe **Maria do Socorro**, pela educação, amor, carinho e companheirismo que foi me dado para que pudesse chegar até aqui. Aos meus irmãos **Arnon** e **Paulo Henrique** pela torcida, carinho e amizade. A minha esposa, **Larice Íris** pelo companheirismo, amor e compreensão nos momentos de ausência.

À professora **Dra. Tatianny Soares Alves**, minha orientadora, pela paciência, confiança, ensinamentos, críticas, cobranças e dedicação que foi dada durante toda a dissertação.

Ao professor **João Mariz** pela realização dos ensaios elétricos.

Aos membros da banca, os professores **Renata Barbosa** e **Reis Sobrinho** pelas enriquecedoras contribuições.

Ao meu colegas **Arquimedes**, **Thainá** e **Raquel** pelo auxílio nas etapas experimentais.

Aos meus amigos e familiares, pela confiança.

A Empresa Copperline pela doação da resina polimérica.

A todos, meu muito obrigado!

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	VII
RESUMO	XI
ABSTRACT	XII
INTRODUÇÃO.....	1
REFERÊNCIAS	3
CAPÍTULO I - COMPÓSITOS DE POLICLORETO DE VINILA E CORTIÇA: UMA ALTERNATIVA PARA REVESTIMENTO DE CABOS ELÉTRICOS.....	5
RESUMO	7
ABSTRACT	8
1. INTRODUÇÃO.....	9
2. COMPÓSITOS.....	11
3. POLICLORETO DE VINILA - PVC.....	12
4. CORTIÇA.....	16
4.1 APLICAÇÕES DA CORTIÇA	17
5. POLÍMEROS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	19
6. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA ESPECÍFICA	21
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26
CAPÍTULO II - COMPÓSITOS DE POLICLORETO DE VINILA E CORTIÇA: AVALIAÇÃO DA MORFOLOGIA E DE PROPRIEDADES MECÂNICA, TÉRMICA E ELÉTRICA	31
RESUMO	33
ABSTRACT	35

1. INTRODUÇÃO.....	36
2. PARTE EXPERIMENTAL.....	39
2.1 MATERIAIS	39
2.1.1 Matriz Polimérica	39
2.1.2 Carga Vegetal	39
2.2 MÉTODOS.....	40
2.2.1 Preparação dos compósitos.....	40
2.2.2 Moldagem dos Corpos de Provas	41
2.3 CARACTERIZAÇÃO DA MATRIZ E DOS COMPÓSITOS.....	42
2.3.1 Análise Termogravimétrica (TG)	42
2.3.2 Análise Microscópica	43
2.3.3 Inflamabilidade.....	43
2.3.4 Ensaio mecânico de tração	46
2.3.5 Caracterização elétrica dos compósitos – resistividade elétrica volumétrica (REV).....	47
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
3.1 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA - TG.....	49
3.2 AVALIAÇÃO MORFOLÓGICA	54
3.2.1 Microscopia óptica – MO.....	54
3.2.2 Microscopia eletrônica de varredura - MEV	57
3.3 TESTE DE INFLAMABILIDADE.....	60
3.4 ENSAIO MECÂNICO DE TRAÇÃO	66
3.5 CARACTERIZAÇÃO ELÉTRICA – RESISTIVIDADE ELÉTRICA VOLUMÉTRICA	72
4. CONCLUSÃO.....	76
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
CONSIDERAÇÕES FINAIS	83
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	84

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I - COMPÓSITOS DE POLICLORETO DE VINILA E CORTIÇA: UMA ALTERNATIVA PARA REVESTIMENTO DE CABOS ELÉTRICOS.....	5
Figura 1.1 - Monômero, mero e estrutura molecular do poli(cloreto de vinila).....	12
Figura 1.2 - Rota de produção de MVC a partir do etileno com o balanceamento dos processos de cloração direta e oxicloração.....	13
Figura 1.3 - Rota de produção do MVC a partir do acetileno, atualmente utilizado na china.....	13
Figura 1.4 - Representação esquemática do processo de polimerização em suspensão.....	14
Figura 1.5 - Micrografia de uma partícula de PVC obtida via processo de polimerização em suspensão.....	15
Figura 1.6 - Micrografia de uma partícula de PVC seccionada obtida via processo de polimerização em suspensão.	15
Figura 1.7 - Utilização da cortiça na construção civil.....	18
Figura 1.8 - Utilização da plástico na construção civil.	20
CAPÍTULO II - COMPÓSITOS DE POLICLORETO DE VINILA E CORTIÇA: AVALIAÇÃO DA MORFOLOGIA E DE PROPRIEDADES MECÂNICA, TÉRMICA E ELÉTRICA	31
Figura 2.1 - Molde para confecção de corpos de prova.	42
Figura 2.2 - Ensaio de inflamabilidade, baseado na Norma UL 94-V	46
Figura 2.3 - Filmes de PVC e PVC/cortiça metalizados.....	47
Figura 2.4 - Curvas TG e DTG do PVC puro e dos compósitos.....	50
Figura 2.5 - Micrografias ópticas do PVC e de respectivos compósitos.....	54
Figura 2.6 - Micrografias por MEV dos compósitos de PVC/Cortiça.	57
Figura 2.7 – Resultado do teste de inflamabilidade vertical.	61
Figura 2.8 - Registros fotográficos dos corpos de provas de PVC puro (imagens a, b, c), PVC/5CP (imagens d, e, f), PVC/10CP (imagens g, h, i), PVC/5CG (imagens j, k, l), PVC/10CG (imagens m, n, o), quando submetidos ao ensaio da norma UL 94 V.	62
Figura 2.9 – Resultado da Tensão de Ruptura do PVC e respectivos compósitos.....	67

Figura 2.10 - Resultado do Módulo de Elasticidade do PVC puro e respectivos compósitos.....	69
Figura 2.11 – Resultado da Tensão de Escoamento e respectivos compósitos.....	71
Figura 2.12 - Comportamento da corrente em relação à voltagem aplicada no PVC puro (a), PVC/5CP (b), PVC/10CP (c), PVC/5CG (d) e PVC/10CG (e).....	72

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I - COMPÓSITOS DE POLICLORETO DE VINILA E CORTIÇA: UMA ALTERNATIVA PARA REVESTIMENTO DE CABOS ELÉTRICOS.....	5
Tabela 1.1 – Constituição química da cortiça.....	17
CAPÍTULO II - COMPÓSITOS DE POLICLORETO DE VINILA E CORTIÇA: AVALIAÇÃO DA MORFOLOGIA E DE PROPRIEDADES MECÂNICA, TÉRMICA E ELÉTRICA	31
Tabela 2.1 – Características do PVC utilizado nesse trabalho	39
Tabela 2.2 – Formulação dos compósitos.	40
Tabela 2.3 – Critérios de avaliação do teste de queima vertical (norma UL 94 - V).	45
Tabela 2.4 – Eventos térmicos e perda de massa do PVC puro e dos compósitos.....	53
Tabela 2.5 - Dados do teste de inflamabilidade de acordo com a norma UL 94 V, ASTM D 3801.....	62
Tabela 2.6 – Propriedades mecânicas do PVC e seus compósitos.	66
Tabela 2.7 – Dados da resistência, espessura, área e resistividade dos filmes de pvc e compósitos de pvc/cortiça.	73

LISTA DE EQUAÇÕES

CAPÍTULO II - COMPÓSITOS DE POLICLORETO DE VINILA E CORTIÇA: AVALIAÇÃO DA MORFOLOGIA E DE PROPRIEDADES MECÂNICA, TÉRMICA E ELÉTRICA	31
Equação 2.1 – Resistência elétrica, em Ω.....	48
Equação 2.2 – Resistividade elétrica volumétrica, em Ω.cm.....	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

A – Ampère

Ae – Área metalizada do filme

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AM – Anidrido Maleico

ASTM - American Standard for Testing and Methods

Au - Ouro

BWF – Antichamas

C₂H₂ – Acetileno

Ca(OH)₂ – Hidróxido de Cálcio

CaC₂ – Carbureto de Cálcio

CaCO₃ – Dióxido de Carbono

CaO – Óxido de Cálcio

CCN – Centro de Ciências da Natureza

CHCl=CH₂ - Monômero de Cloreto de Vinila

CO – Monóxido de Carbono

CO₂ – Dióxido de Carbono

COOH – Ácido Carboxílico

EDC - 1,2-Dicloroetano

DTG - Termogravimetria Derivada

DSC - Calorimetria Exploratória Diferencial

g - Gramas

g/cm³ - Grama por centímetro cúbico

kgf/mm² - Quilograma força por milímetro quadrado

h – Hora

HCl – Ácido Clorídrico

I – Corrente Elétrica

Icc – Corrente Elétrica contínua

KN – quilonewton

KV – Quilovolt

L – Espessura dos filmes para caracterização elétrica

LAPCON - Laboratório de Polímeros e Materiais Conjugados

LIMAV – Laboratório Interdisciplinar de Materiais Avançados

MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura

mbar - Milibar

mm/min – milímetro por minuto

mim – minuto

mm – milímetro

MO – Microscopia Óptica

Mpa – Megapascal

MVC – Monômero de Cloreto de Vinila

NaCl - Cloreto de Sódio

°C - Graus Celsius

°C/min - Graus Celsius por minuto

OH - Hidroxila

PE – Polietileno

PEAD - Polietileno de Alta Densidade

PE-g-MA - Polietileno funcionalizado com anidrido maleico

PCL - Policaprolactona

PHBV - Poli (hidroxibutirato-co-hidroxivalerato)

PLLA – Poli(ácido láctico)

PA – Poli(amida)

PE – Poli(estireno)

PP – Poli(propileno)

PVC – Poli(cloreto de Vinila)

PVC/5CP – 95% em peso de Policloreto de Vinila e 5% em peso de cortiça em pó

PVC/5CG – 95% em peso de Policloreto de Vinila e 5% em peso de cortiça granulada

PVC/10CP – 90% em peso de Policloreto de Vinila e 10% em peso de cortiça em pó

PVC/10CG – 90% em peso de Policloreto de Vinila e 10% em peso de cortiça granulada

R – Resistência Elétrica

REV – Resistividade Elétrica Volumétrica

RN – Rio Grande do Norte

Rpm – Rotações por Minutos

s - Segundos

SPCL - Amido Policaprolactona

Tp – Temperatura máxima de perda de massa

t1 - Tempo máximo para a chama se extinguir, após a primeira queima em segundos

t2 - Tempo máximo para a chama se extinguir, após a segunda queima em segundos

TG - Termogravimetria

TGA – Análise Termogravimétrica

µm – Micrômetro

V – Volts

Vcc – Tensão Contínua

% - Porcentagem

Δm - Perda de massa calculada

ρ - resistividade elétrica volumétrica

Ω - Ohms

$\Omega.cm$ – Ohms por centímetro

RESUMO

O desenvolvimento de compósitos tem conquistado diferentes segmentos de mercados devido às propriedades diferenciadas que apresentam. Dentre os segmentos de aplicação de materiais compósitos está a construção civil, que cada vez mais tem procurado associar baixo custo, bom desempenho e sustentabilidade. Na perspectiva de desenvolvimento sustentável o uso de recursos naturais tem sido cada vez mais intensificado e com isso compósitos a base de cortiça vêm ganhando despertando o interesse dos meios acadêmicos e industriais. O tema proposto neste trabalho está inserido no âmbito do desenvolvimento e caracterização de compósitos que combinam o Policloreto de Vinila (PVC) e a cortiça natural sob diferentes granulometrias para possível aplicação como material de revestimento de cabos elétricos. Os compósitos contendo 5 e 10% de cortiça foram processados em extrusora monorosca, moldados via compressão e caracterizados por microscopia óptica e eletrônica de varredura, desempenho mecânico sob tração, comportamento térmico para determinação de perda de massa, comportamento sob queima vertical e por fim determinação da resistividade elétrica volumétrica. Em geral, os resultados apontaram influência da cortiça sob as diferentes caracterizações, com reduções de propriedades mecânicas e elétricas, o que foi atribuído a formação de aglomerados e a falta de compatibilidade entre os constituintes. Termicamente não foram observadas alterações significativas nos eventos de perda de massa do material e o teste de resistência a chama indicou que a presença de cortiça reduz o tempo de manutenção da chama. Os resultados obtidos apontam para necessidades de introdução de um agente compatibilizante ao compósito e possíveis alterações nos parâmetros de processamento tais como tipo de extrusora, velocidade de roscas e controle de vazão de alimentação, mas não excluindo o potencial de aplicação como material de revestimento em cabos elétricos.

Palavras-chave: Poli(Cloreto de Vinila), cortiça, compósitos.

ABSTRACT

The development of composites has conquered different market segments due to the different properties they present. Among the segments of application of composite materials is civil construction, which has increasingly sought to associate low cost, good performance and sustainability. In the perspective of sustainable development the use of natural resources has been increasingly intensified and with this, cork-based composites have been gaining in the interest of academic and industrial circles. The subject proposed in this work is part of the development and characterization of composites combining Vinyl Polychloride (PVC) and natural cork under different grades for possible application as coating material for electric cables. The composites containing 5 and 10% of cork were processed in monoscopic extruders, molded by compression and characterized by optical and scanning electron microscopy, mechanical performance under traction, thermal behavior to determine mass loss, behavior under vertical firing and finally determination Volumetric resistivity. In general, the results indicated the influence of cork under the different characterizations, with reductions of mechanical and electrical properties, which was attributed to the formation of agglomerates and the lack of compatibility between the constituents. Thermally no significant changes were observed in the mass loss events of the material and the flame resistance test indicated that the presence of cork reduces the flame holding time. The results obtained point to the need to introduce a compatibilizing agent to the composite and possible changes in the processing parameters such as extruder type, screw speed and feed flow control, but not excluding the potential of application as a coating material in cables electrical installations.

Keywords: Poly (Vinyl Chloride), cork, composites.

INTRODUÇÃO

A ciência dos materiais compósitos vem se desenvolvendo cada vez mais e de forma vasta conquistando novos espaços e inovando em tecnologia, sendo as respectivas propriedades físicas e mecânicas destes materiais grandes atrativos para aplicações de alta performance na engenharia (Kiliaris, & Papaspyrides, 2010; Halliwell, 2002; Flaga, K., 2000).

O compósito ou material composto é uma composição de dois ou mais componentes que após a sua junção formam um único material, sendo macroscopicamente possível distinguir os diferentes constituintes (Mark, 2004). Podemos subdividir os compósitos em duas fases distintas: a fase do reforço, que suporta a maior parte dos esforços, sendo normalmente constituída por fibras ou por pós de diferentes composições e aspectos granulométricos; e a fase da matriz, que tem por função agregar o reforço transmitindo os esforços (Chawla, 2012).

Na era em que a sustentabilidade é a palavra de ordem e a preocupação da comunidade acadêmica e industrial, o desenvolvimento de compósitos com recursos renováveis passou a ter um papel fundamental nas mais diversas áreas de aplicação. E neste contexto, o objetivo deste trabalho foi desenvolver compósitos a base de um dos polímeros mais consumidos no mundo, o Poli(Cloreto de Vinila), e de uma carga com origem vegetal de excelentes propriedades, a cortiça.

Os produtos de PVC são excelentes opções para o mercado da construção civil. Em síntese mostram excelente relação custo/benefício, reduzida massa específica, facilidade de processamento (Feltran, & Diaz, 2007). Esta é a razão pela qual 63% da resina de PVC

consumida no Brasil são destinados às aplicações ligadas à construção civil na forma de produtos como: tubos, conexões, perfis para construção civil e fios e cabos (Perottoni, 2007; Köhler-Hammer, Knippers, & Hammer, 2016).

Diante da versatilidade do PVC é possível modificar suas propriedades de inúmeras maneiras como, por exemplo, incorporando aditivos e formando blendas (Araújo, & Pires, 2013). E diante destas possibilidades foi proposta a adição de cortiça com o intuito de alterar as propriedades térmicas e elétricas do PVC. Essa é uma proposta promissora para a criação de materiais inovadores, visto que, diante das buscas nas mais diversas plataformas apenas um trabalho foi encontrado analisando o comportamento mecânico e térmico de compósitos de PVC/cortiça (Boulahia, 2016). A versatilidade e a diversidade de características e requisitos técnicos da cortiça permitem a utilização em múltiplas aplicações: na construção ela cumpre simultaneamente requisitos de isolamentos térmicos, acústicos e antivibratórios que podem torná-la uma solução de desenvolvimento sustentável. Um enorme leque de aplicações é apresentado para a cortiça, podendo ser utilizada como revestimento de fachadas para isolamento térmico, acústico em pavimentos e em coberturas como isolante térmico.

Diante do exposto, o estudo proposto será apresentado em dois capítulos: o primeiro abordará os principais conceitos e aspectos relacionados aos materiais do foco da pesquisa, o PVC e a cortiça; o segundo capítulo apresentará a metodologia seguida na preparação dos compósitos e os respectivos resultados obtidos por meio da avaliação da morfologia, desempenho mecânico e térmico, comportamento sob queima e determinação da resistividade elétrica volumétrica.

REFERÊNCIAS

- Araújo, R. G., & Pires, A. T. (2013). Nanocompósitos PVC/Nanotubos de Carbono: Avaliação da Resistividade Elétrica e Efeito do Solvente Utilizado na Obtenção dos Nanocompósitos nas Propriedades Térmicas. *Polímeros*, 23(6), 839-843.
- Boulahia, H., Zerizer, A., Touati, Z., & Sesbou, A. (2016). Recycling the Cork Powder in a PVC-Based Composite Material: Combined Effect on Physico-Mechanical and Thermal Properties. *International Polymer Processing*, 31(3), 346-355.
- Chawla, K. K. (2012). *Composite materials: science and engineering*. Springer Science & Business Media.
- Feltran, M. B., & Diaz, F. R. (2007). Compósitos de PVC reforçados com fibra de vidro: utilização de técnicas de processamento convencionais da indústria brasileira. *Polímeros Ciência e Tecnologia*, 17(4), 276.
- Flaga, K. (2000). Advances in materials applied in civil engineering. *Journal of Materials Processing Technology*, 106, 173-183.
- Halliwell, S.M. (2002). Polymers in Building and Construction. *Rapra Review Reports*, 13, 10, 3-27.
- Kiliaris, P., & Papaspyrides, C. D. (2010). Polymer/layered silicate (clay) nanocomposites: An overview of flame retardancy. *Progress in Polymer Science*, 35, 902-958.
- Köhler-Hammer, C., Knippers, J., Hammer, M.R. (2016). Bio-based plastics for building facades. *Start-Up Creation*, 329 - 346.

Mark, H. (2004). Encyclopedia of Polymer Science and Technology, 12 Volume Set. Wiley-Interscience, New York.

Perottoni Jr., A. - Correspondência particular ao autor (2007), baseada em números da Comissão Setorial de Resinas Termoplásticas da Associação Brasileira da Indústria Química.

CAPÍTULO I

COMPÓSITOS DE POLICLORETO DE VINILA E CORTIÇA: UMA ALTERNATIVA PARA REVESTIMENTO DE CABOS ELÉTRICOS

**COMPÓSITOS DE POLICLORETO DE VINILA E CORTIÇA: UMA ALTERNATIVA
PARA REVESTIMENTO DE CABOS ELÉTRICOS**

Pedro José Gomes Rodrigues^{1}, Joyce Batista Azevedo², Tatianny Soares Alves³*

¹Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais,

²Curso de Engenharia de Materiais / Faculdade SENAI-CIMATEC/BA

*³Curso de Engenharia de Materiais e Programa de Pós Graduação em Ciência dos
Materiais/Universidade Federal do Piauí*

**pedrojgr@ufpi.edu.br*

RESUMO

Nas últimas décadas os compósitos poliméricos têm desempenhado um papel importante na construção civil sob diferentes aplicações: revestimento de pavimentos, acabamento interior de paredes, acessórios de iluminação, revestimentos de cabos, canalizações, entre outros. Dentre os polímeros que podem ser utilizados como matriz polimérica para revestimento e isolamento de cabos elétricos destaca-se o Poli (Cloreto de Vinila) devido à combinação de boas propriedades. Uma alternativa para melhorar suas propriedades de retardância a chama, degradação térmica e propriedade de isolamento seria a adição de cortiça. A cortiça nos últimos anos vem sendo muito utilizada na construção civil para isolamento térmico de paredes e coberturas, revestimento de fachadas, entre outras, e sendo uma carga de origem vegetal reduziria os impactos ambientais causados por possíveis descartes inadequados de materiais. A fim de contribuir para a formação de novos materiais, foi desenvolvido compósito PVC/cortiça na finalidade de melhorar suas propriedades para aplicação em revestimento e isolamento de cabos de baixa tensão.

Palavras-chave: Poli(Cloreto de Vinila), cortiça, construção civil, revestimento de cabos.

ABSTRACT

In recent decades, polymer composites have played an important role in civil construction under different applications: floor coverings, interior wall finishes, lighting fixtures, cable cladding, plumbing, among others. Among the polymers that can be used as a polymeric matrix for coating and insulation of electrical cables, Poly (Vinyl Chloride) stands out due to the combination of good properties. An alternative to improving its flame retardancy properties, thermal degradation and insulation property would be the addition of cork. Cork in recent years has been widely used in civil construction for thermal insulation of walls and roofs, facade cladding, among others, and being a load of vegetable origin would reduce the environmental impacts caused by possible inappropriate material discards. In order to contribute to the formation of new materials, PVC / cork composite was developed in order to improve its properties for coating and insulation of low voltage cables.

Keywords: Poly (Vinyl Chloride) , cork, civil construction, cable cladding.

1. INTRODUÇÃO

A história da humanidade tem sido marcada pela inquietude do homem no ato de explorar as potencialidades ao seu redor (Korjenic, Zach, & Hroudová, 2016). O grande desenvolvimento tecnológico, associado à crescente evolução no mundo da química orgânica, tem permitido a utilização de materiais plásticos com vasto leque de aplicações, tornando-o um produto moderno, acessível e cada vez mais importante (Santos, & Guerra, 2010). De fato, desde as instalações elétricas e hidráulicas até ao acabamento de uma obra (como revestimento de pavimentos e caixilharias), a aplicação de polímeros na construção civil vem apresentando um rápido crescimento (Flaga, K., 2000; Ammala, *et al.*, 2011; Kiliaris, & Papaspyrides, 2010).

Suas principais vantagens quando consideradas no projeto de um produto destinado à construção civil são: baixa massa específica, possibilidade de moldagem em qualquer desenho e/ou formato, contribuição ao isolamento térmico e acústico, facilidade de instalação e baixa demanda de manutenção (Feltran, & Diaz, 2007). Entretanto, mesmo com as suas vantagens e vasta aplicabilidade, alguns materiais plásticos apresentam como limitações baixa resistência aos esforços de tração e impacto, deformação sob carga, baixo ponto de fusão em comparação com os materiais cerâmicos e metálicos e elevada inflamabilidade (Flaga, K., 2000). No mercado da construção civil o PVC é o termoplástico mais utilizado e cerca de 63% de todo o PVC consumido no país são direcionados para a indústria de construção e arquitetura (Abiquim, 2006; Perottoni, 2007).

Diversos materiais particulados ou fibrosos, sob a forma de reforço ou carga, podem ser incorporados à matriz de PVC procurando-se aumento da resistência ao impacto; melhorias de processabilidade; aumento de rigidez/temperatura de distorção térmica e redução

de inflamabilidade, melhoria das propriedades dielétricas, etc. A incorporação de borrachas (elastômeros) ao PVC é um exemplo que mostra como proporcionar um aumento significativo na resistência ao impacto (Mano, 1991).

A motivação para a utilização da cortiça está no fato de este apresentar uma série de propriedades peculiares, como reduzida densidade, possuir elasticidade, ser isolante térmico, elétrico, de baixo custo e além disso, é um material natural e renovável (Fernandes, 2013). De acordo com Fernandes, *et al.*, (2015) a adição de cortiça aos materiais poliméricos contribui para a produção de materiais leves e para o desenvolvimento de compósitos mais sustentáveis.

A proposta desse trabalho foi contribuir com um estudo experimental no desenvolvimento de um material compósito que venha permitir a incorporação da cortiça ao processo de mistura com o PVC, fazer uma abordagem geral dos aspectos relacionados ao compósito PVC/Cortiça e apontar a maneira de como esses materiais podem ser uma alternativa para revestimento de cabos elétricos.

2. COMPÓSITOS

Os compósitos são materiais resultantes da junção de dois ou mais componentes distintos e que apresentam características diferentes dos seus constituintes (Jones, 1975; Mark, 2004; Kaw, 2006; Boston, 2012). Os compósitos surgiram com destaque na segunda metade do Século XX com o uso de estruturas leves e nas décadas de 80 e 90 a aplicação dos compósitos tornou-se muito comum para melhorar o desempenho de veículos espaciais e aviões militares (Ventura, 2009).

Uma importante característica dos compósitos é a facilidade com que podem ser desenvolvidos para aplicações específicas, alterando-se o tipo dos constituintes, concentração, tamanho e forma (Oréface, Hench, & Brennan, 2001). Uma grande variedade de materiais de reforços e matrizes está disponível para utilização em materiais compósitos e a respectiva seleção deve ser realizada visando uma maior eficiência para o material (Mano, 1991; Chawla, 2012).

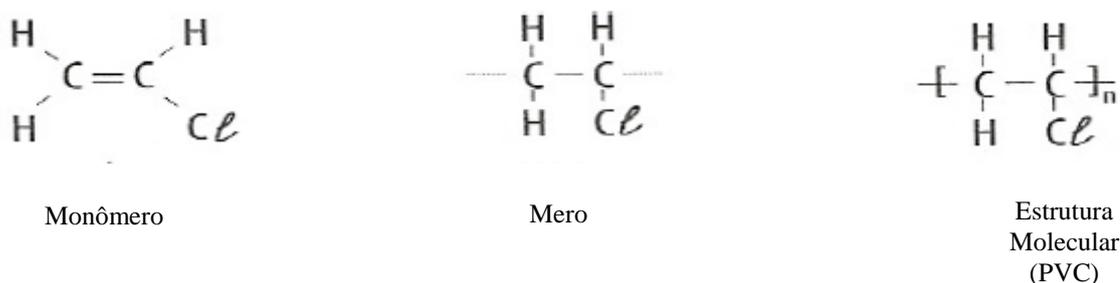
Em nível das aplicações, os materiais compósitos encontram-se disseminados por diversas áreas, abrangendo transportes (onde a indústria automotiva tem um destaque particular), artigos desportivos, componentes elétricos e eletrônicos, bem como as indústrias de grande visibilidade tecnológica, como a aeronáutica, espacial e de defesa (Moura, Morais, & Magalhães, 2005).

O emprego de cargas naturais como reforço em materiais compósitos tem sido o foco de diversas pesquisas, motivadas na tentativa de substituir os compostos comumente fabricados com reforços sintéticos, **uma vez** que podem apresentar boas relações térmicas, mecânicas, e peso, aliadas a questão de sustentabilidade.

3. POLICLORETO DE VINILA - PVC

O PVC, poli(cloreto de vinila), é um polímero termoplástico semicristalino cuja estrutura molecular do mero apresenta um átomo de cloro (Marinho, 2005). As fórmulas químicas do monômero, do mero e do polímero PVC estão mostradas na Figura 1.1.

Figura 1.1 - Monômero, mero e estrutura molecular do poli(cloreto de vinila).

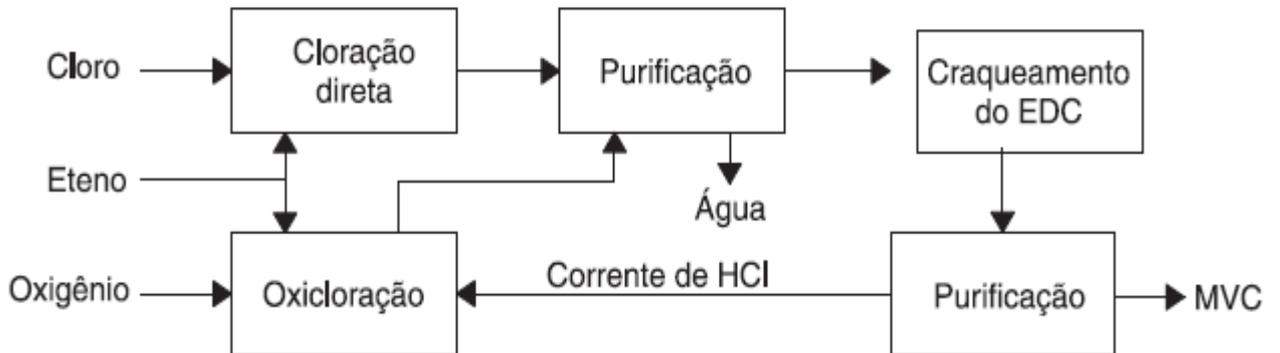


Fonte: Marinho, 2005.

O elevado teor de cloro na cadeia do PVC torna a sua molécula extremamente polar, aumentando sua afinidade com uma ampla gama de aditivos, o que permite formulações com propriedades bastante variadas (Rodolfo Jr, Nunes, & Ormanji, 2006). O PVC é responsável por mais de 80% do consumo de plastificantes na área de materiais poliméricos, tornando-o fundamental para aplicações nas quais a flexibilidade é requerida (Rabello, 2000).

Existem duas rotas principais para obtenção do MVC (monômero de cloreto de vinila) e posterior produção do PVC: a rota do etileno, ou processo balanceado, que é a mais utilizada em escala mundial e que consiste em duas rotas de produção (Cloração direta e Oxicloração) do MVC interdependentes, conforme esquema da Figura 1.2. Ambas baseadas no produto intermediário 1,2-dicloroetano ou simplesmente EDC (Rodolfo Jr, Nunes, & Ormanji, 2006).

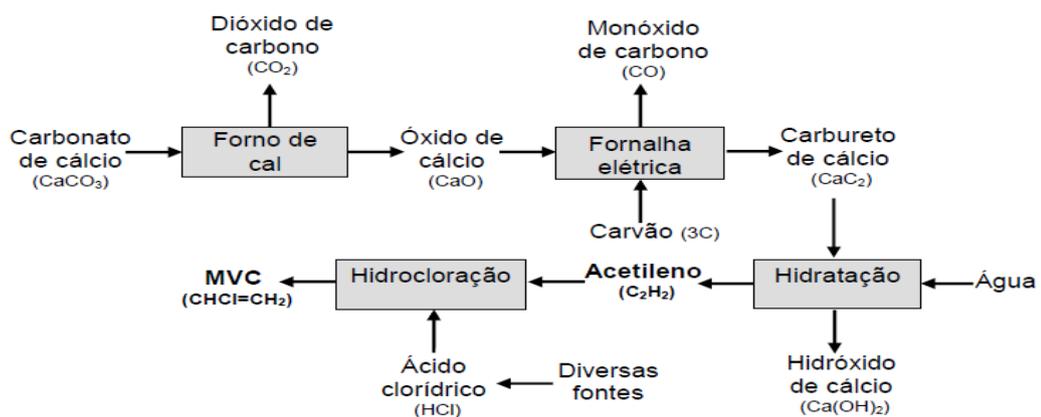
Figura 1.2 - Rota de produção de MVC a partir do etileno com o balanceamento dos processos de cloração direta e oxicloração.



Fonte: Rodolfo Jr, Nunes, & Ormanji, 2006.

A rota de produção via acetileno independe da cadeia petroquímica e pode ser visualizada na Figura 1.3. Atualmente, é a rota mais adotada nas novas empresas em operação na China, devido a menores investimentos nos ativos fabris e custo de produção em relação às rotas a partir do etileno.

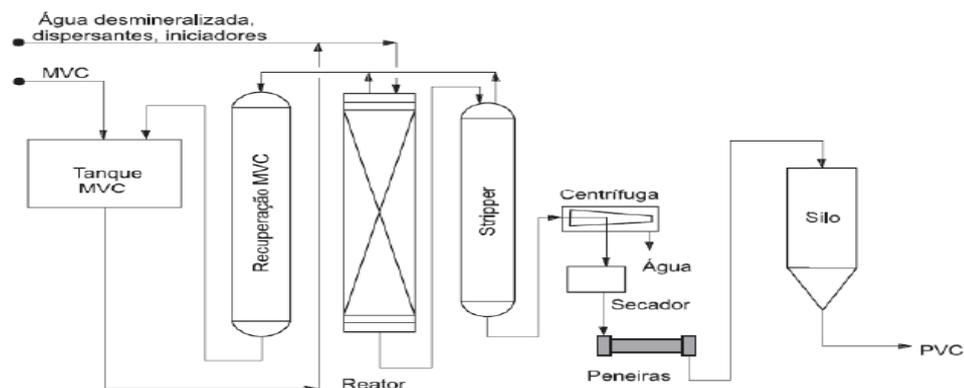
Figura 1.3 - Rota de produção do MVC a partir do acetileno, atualmente utilizado na China.



Fonte: Titow, 1984.

O processo de polimerização do monômero de cloreto de vinila pode ser realizado por meio das técnicas de emulsão, suspensão, micro-suspensão, massa ou solução. Nesse trabalho apenas será abordada a polimerização em suspensão (Figura 1.4), responsável por aproximadamente 80% da resina de PVC produzida no mundo. Sua produção consiste em um processo semi-contínuo, no qual os reatores são alimentados com monômeros de cloreto de vinila (MVC), aditivos e catalisadores e a reação de polimerização ocorre em meio aquoso. Após o término da reação os reatores são esvaziados e a mistura de água e PVC é separada do monômero que não reagiu. O PVC é centrifugado, seco, peneirado e embalado, e a água é reciclada ou tratada na unidade de tratamento de efluentes (Rodolfo Jr, Nunes, & Ormanji, 2006).

Figura 1.4 - Representação esquemática do processo de polimerização em suspensão.

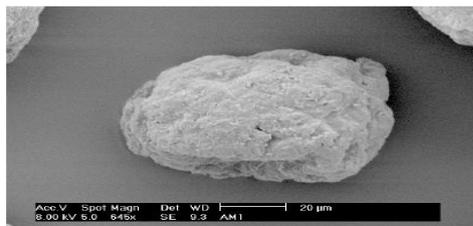


Fonte: Rodolfo Jr, Nunes, & Ormanji, 2006.

É possível observar nas Figuras 1.5 e 1.6, respectivamente, a micrografia de uma partícula ou grão de PVC obtida via processo de suspensão e a sua estrutura interna. Observa-se que o interior do grão é formado por aglomerados de pequenas partículas, com diâmetro em torno de 1 μm , chamadas de partículas primárias. Observa-se na Figura 1.6 que entre as

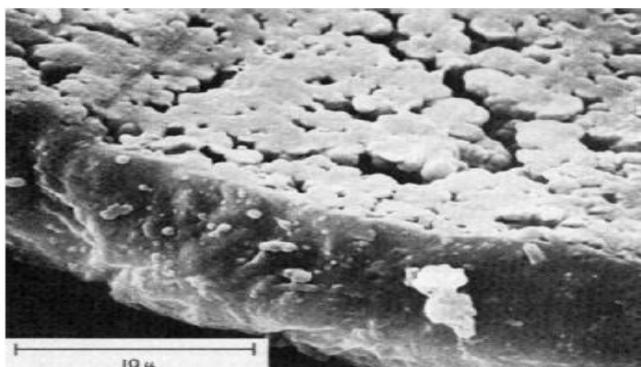
partículas primárias existe certa porosidade, o que confere ao polímero facilidade na incorporação dos aditivos (Rodolfo Jr, Nunes, & Ormanji, 2006).

Figura 1.5 - Micrografia de uma partícula de PVC obtida via processo de polimerização em suspensão.



Fonte: Rodolfo Jr, Nunes, & Ormanji, 2006

Figura 1.6 - Micrografia de uma partícula de PVC seccionada obtida via processo de polimerização em suspensão.



Fonte: Rodolfo Jr, Nunes, & Ormanji, 2006.

A presença de átomos de cloro na cadeia polimérica torna o PVC solúvel em solventes fortemente polares, como acetona e hidrocarbonetos clorados (Wiebeck, & Piva, 2001; Nunes, Rodolfo Jr, & Ormanji, 2002). O átomo de cloro atua ainda como um marcador nos produtos de PVC, permitindo a separação automatizada dos resíduos de produtos produzidos com este material, facilitando assim sua separação para reciclagem (Rodolfo JR., & Mei, 2007).

4. CORTIÇA

A cortiça é a camada mais exterior da espécie *Quercus suber*, vulgarmente designada de sobreiro, cuja particularidade consiste na capacidade de regeneração das células exteriores. Pode ser descrita como um tecido homogêneo de células de paredes finas com disposição regular e sem espaço intercelular, com uma estrutura que se assemelha a um favo de mel (Silva, *et al.*, 2005). É um material leve, elástico, resistente à água, isolante térmico, elétrico, acústico e resistente a vibrações. Tem a particularidade de poder ser comprimido sem expansão lateral devido à sua estrutura celular prismática que fica arredondada quando comprimida, além de ser dotada de uma grande estabilidade química, biológica e resistência ao fogo (Gil, 2005). Este material é normalmente empregado na construção sem funções estruturais e tem um comportamento similar ao poliestireno expandido e a vermiculita (Eires, Jalali, & Camões, 2010).

A qualidade da cortiça vem da mistura de gases semelhantes ao ar, que preenche cada uma das células conferindo leveza, compressibilidade e elasticidade, e da percentagem de suberina contida nas suas paredes. Desta forma, a cortiça pode ser comprimida até metade do seu tamanho sem perder qualquer flexibilidade, sendo estas características importantes em situações de impacto (Queirós, 2016).

A constituição química da cortiça engloba vários tipos de compostos que tradicionalmente são divididos nos grupos apresentados na Tabela 1.1.

Tabela 1.1 – Constituição química da cortiça.

Suberina	45 %	Principal componente das paredes celulares da cortiça, responsável pela elasticidade e impermeabilidade.
Lenhina	27%	Segundo componente estrutural mais importante das paredes celulares da cortiça.
Polissacarídeos	12 %	Componentes das paredes das células que ajudam a definir a textura da cortiça.
Ceróides	6 %	Repelem a água e contribuem para a impermeabilidade
Taninos	6 %	Conferem cor e permitem a conservação do material
Cinzas	4 %	

Fonte: Gil, 2007.

4.1 APLICAÇÕES DA CORTIÇA

Além das tradicionais aplicações (rolhas e aglomerados), a cortiça atualmente é empregada nas indústrias automotiva, farmacêutica, aeroespacial, como também em acessórios de moda, vestuário, dentre outras. Este enorme leque de aplicações resulta de suas inúmeras propriedades ímpares, que se estendem desde excelente capacidade de isolamento térmico, elétrico e acústico; até uma admirável resposta quando submetida à compressão, à tração e torção (Gil, 1998; Fortes, Rosa, & Pereira, 2004).

Na construção civil a cortiça é muito utilizada na forma de aglomerado como isolante térmico, acústico e vibratório, na pavimentação, revestimento de paredes e tetos, rodapés, em juntas de dilatação/compressão, e em forma de granulado para mistura com argamassas (Forum, 2005), como pode ser observado na Figura 1.7.

Figura 1.7 - Utilização da cortiça na construção civil.



Fonte: Amorim, 2016.

A cortiça surgiu na construção civil como resposta às necessidades atuais de conforto e preocupação ambiental na utilização de materiais ecológicos (Chiebao, 2011). A versatilidade da cortiça tem despertado o aprimoramento e a geração de novos produtos a partir de sua capacidade de integrar-se com outros materiais, tais como plástico, asfalto, cimento. Neste trabalho a incorporação de cortiça ao PVC é uma possibilidade de formação de um novo produto para aplicações na construção civil, visando o revestimento de cabos para baixa tensão.

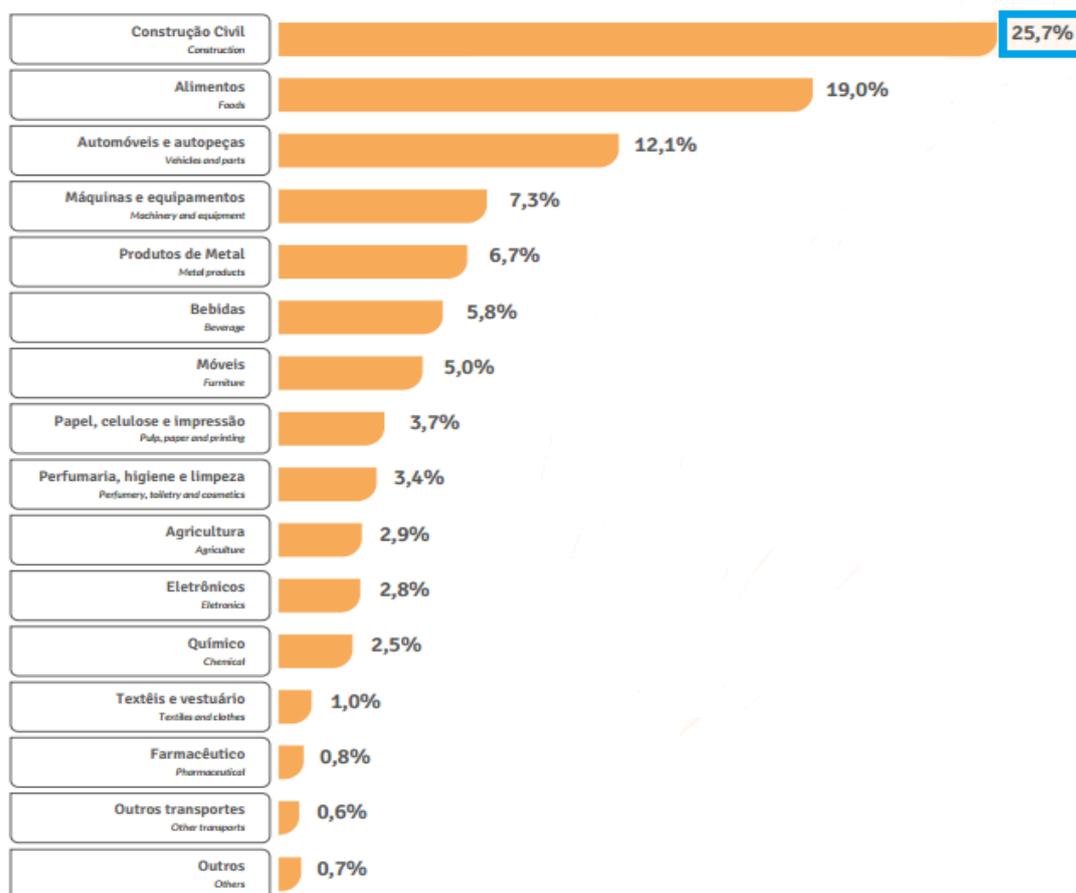
5. POLÍMEROS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Na construção civil, a partir do Século XX, alguns materiais convencionais foram progressivamente substituídos por materiais poliméricos, como resultado de uma busca incessante pelo entendimento do comportamento destes materiais (Santos, & Gerra, 2010), e estão entre os mais empregados o poli(cloreto de vinila) (PVC), poli(propileno) (PP), poli(etileno) (PE), poli(estireno) e a poli(amida) (PA) (Lima, Rocha, & Konagano, 2012).

Os polímeros são utilizados nas construções para resolução de problemas de infiltrações, corrosão, dilatações, empenamentos, redução do tempo e custo de construções, redução do peso das estruturas, melhoramento do isolamento térmico e acústico (Halliwell, 2002; Köhler-Hammer, Knippers, & Hammer, 2016).

De acordo com a Abiplast (2015) o setor de construção civil é o maior setor consumidor de plástico no Brasil, sendo empregados aproximadamente 25,7% desses materiais, como pode ser visto na Figura 1.8, nas seguintes aplicações: instalações hidráulicas prediais, instalações elétricas, fechamento de fachadas - esquadrias e portas, fechamento de coberturas – telhas, pisos, revestimento, forro, etc. Dentre os componentes para instalações elétricas, podem ser destacados os eletrodutos para passagem de fios e cabos, revestimentos isolantes de fios e cabos, tomadas, interruptores, caixas, entre outros.

Figura 1.8 - Utilização da plástico na construção civil.



Fonte: Abiplast, 2015.

A possibilidade de combinações dos elementos químicos para o desenvolvimento de novos plásticos são virtualmente infinitas e é justamente esse o desafio de se trabalhar com o PVC. A formação de compósito de PVC e cortiça pode representar um grande avanço e uma alternativa para melhorar suas propriedades quando utilizados como materiais de construção.

6. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA ESPECÍFICA

Neste tópico são apresentados alguns resumos de estudos realizados a respeito do desenvolvimento de compósitos poliméricos a base de cortiça.

Boulahia, *et al.*, (2016) analisaram as propriedades mecânicas e térmicas de compósitos de PVC/cortiça em pó com e sem agente de acoplamento do tipo anidrido maleico (AM), nas seguintes proporções: 100% PVC, 70% PVC/30% cortiça, 60% PVC/40% cortiça, 50% PVC/50% cortiça, 68% PVC/30% cortiça/2% AM, 66% PVC/30% cortiça/4% AM, 58% PVC/40% cortiça/2% AM, 56% PVC/40% cortiça/4% AM, 48% PVC/50% cortiça/2% AM, 46% PVC/50% cortiça/4% AM. As formulações de PVC/cortiça foram preparadas e misturadas a seco sob alta velocidade em equipamento *driser* e os corpos de provas foram preparados sob pré – aquecimento a 170°C em um molde durante 3 min, seguido por uma prensagem a 180°C sob pressão de 300 kN durante 5 min. O estudo mostrou que em termos de propriedades mecânicas, a incorporação de cortiça em pó na matriz de PVC sem a presença de agente de acoplamento obteve um efeito negativo sobre o tensão de ruptura devido à falta de interação entre os materiais, enquanto o módulo de elasticidade e a dureza aumentaram. A incorporação do agente de acoplamento promoveu o aumento da tensão de ruptura dos compósitos e maior estabilidade térmica devido à melhor adesão interfacial, mas ainda com características mecânicas inferiores ao PVC. Considerando as propriedades térmicas dos compósitos, está implícito que a celulose retarda significativamente a decomposição do poli(cloreto de vinila).

Fernandes, *et al.* (2015) caracterizaram compósitos resultantes da combinação de diferentes poliésteres alifáticos biodegradáveis com cortiça. A biomassa lignocelulósica com estrutura celular fechada foi incorporada aos polímeros poli(ácido láctico) (PLA), poli(hidroxiacetato-co-hidroxiacetato) (PHBV), policaprolactona (PCL) e amido

policaprolactona (SPCL) utilizando-se uma extrusora dupla rosca sob velocidade de rosca de 50 rpm e em seguida a moldagem por injeção. Antes do processamento as matérias-primas foram secas a 40°C (para o PCL e SPCL) e 70°C (para o PLLA, PHBV e cortiça) durante 24 horas para a estabilização do teor de umidade. Após a secagem, os polímeros foram micronizados em moinho de alta centrifugação, atingindo tamanhos de grão inferior a 0,5 mm. Os corpos de provas foram processados nas proporções de 100% PLLA, 70% PLLA/30% cortiça, 100% PHBV, 70% PHBV/30% cortiça, 100% PCL, 70% PCL/30% cortiça, 100% SCPL e 70% SCPL/30% cortiça e avaliados quanto as propriedades mecânicas, morfologia e propriedades térmicas. Os resultados indicaram que a adição de cortiça contribui para a produção de materiais leves com uma boa ligação à matriz, principalmente para os poliésteres de base biológica. Nos resultados da análise térmica foi possível observar que a presença de cortiça promoveu o deslocamento das curvas para temperaturas mais baixas indicando uma pequena diminuição na estabilidade térmica dos biocompósitos. A única exceção foi PHBV, que a adição de cortiça melhorou a estabilidade térmica inicial. Os autores concluíram que os biocompósitos com cortiça são viáveis para a produção de produtos sustentáveis para uma ampla gama de aplicações.

Aroso, *et al.*, (2015) avaliaram as propriedades térmicas e mecânicas dos compósitos de polipropileno/cortiça e polipropileno/extratos de cortiça processados em extrusora dupla rosca com perfil de temperatura 100° C, 170° C, 180° C e 185° C. A cortiça foi utilizada nas formas de pó natural e os respectivos extratos foram preparados em contato com solventes, sob condições de refluxo, por um período de 6 horas. Após a liofilização, a cortiça foi recuperada na forma de pó, armazenada em um dessecador e protegida da luz até a sua utilização. Os extratos foram obtidos com água, etanol e água/etanol. Antes de iniciar o processamento, todas as matérias-primas naturais foram secas sob vácuo a 30°C durante 24 h,

para estabilizar o teor de umidade de cortiça. Os resultados dos testes mecânicos indicaram que o módulo de elasticidade e a tensão máxima dos compósitos são estatisticamente semelhantes ao PP puro. No entanto, a avaliação mecânica indica que a presença de cortiça tratada em água ou etanol/água não afeta negativamente o desempenho mecânico da matriz de PP.

Fernandes, *et al.*, (2011) investigaram as propriedades dos compósitos de polipropileno (PP)/cortiça em pó e polietileno (PE)/cortiça em pó, preparados através do processo de pultrusão industrial, nas proporções 50% PP/50% cortiça e 50% PE/50% cortiça, e moldados a 150°C para os compósitos de PE e a 170°C para as amostras de PP. O resultado das propriedades mecânicas mostrou que com a adição da cortiça foram consideravelmente reduzidas a resistência à tensão e flexão do material e que o módulo de elasticidade melhorou em ambos os casos. No ensaio de resistência ao impacto a adição de pó de cortiça melhora a capacidade de absorção de energia das poliolefinas usadas. Através das imagens por MEV, verificou-se que nos dois compósitos a cortiça interagiu com a matriz polimérica uma vez que os vazios ou espaços entre as duas fases não foram detectados. Na análise de TG, o resultado mostrou que quando a cortiça em pó é misturada com o PP a estabilidade térmica do compósito aumenta e no ensaio de resistência ao fogo, a cortiça atuou como retardante de chama, melhorando o desempenho do compósito. Os autores concluíram que os compósitos de cortiça desenvolvidos apresentaram propriedades promissoras, embora estratégias de reforço para alcançar a maior rigidez e a força possam ser necessárias para aplicações específicas.

Fernandes, Mano, & Reis (2013) investigaram a utilização de fibra de sisal curta tratadas e sem tratamento, com e sem agente de acoplamento (PE-g-MA), como uma estratégia para reforçar compósitos de cortiça em pó e polietileno de alta densidade (PEAD).

As fibras de sisal tratadas foram imersas em solução de hidróxido de sódio (NaOH) durante 2h à temperatura ambiente, em seguida, lavadas com água destilada contendo algumas gotas de ácido acético, e finalmente lavadas com água destilada, seguido de secagem num forno a 70°C. Antes da mistura todas as matérias-primas foram secas a 80°C durante 16 h, para estabilizar a cortiça e as fibras sisal com relação ao teor de umidade. Depois disso, as fibras de sisal foram cortadas nas dimensões < 20 mm. Os compósitos foram produzidos em extrusora dupla rosca em uma temperatura de 130°C a 160°C com uma velocidade rotação das rocas de 30 rpm, seguido por uma moldagem a compressão a uma temperatura de 150°C. As imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) mostram uma boa adesão entre a cortiça e a matriz polimérica promovida pela utilização de agente de acoplamento. Comportamento distinto foi observado quando as fibras de sisal e a cortiça foram adicionadas ao PEAD sem a utilização de agente de acoplamento. No geral, observou-se que todos os compósitos com fibra de sisal apresentaram melhoria significativa tanto na rigidez, quanto na resistência a tração. A melhoria nas propriedades de tração foi ainda mais elevada para o caso dos compósitos com a fibra de sisal tratada, devido a modificação química e um aumento da rugosidade da superfície. Comparando com a matriz de polietileno, os compósitos à base de cortiça apresentaram valores de módulo semelhantes, mas um desempenho de resistência a tração reduzido. Os autores atribuíram que o efeito combinado entre a fibra de sisal tratada com o agente de acoplamento que melhora a aderência entre as interfaces e, conseqüentemente, reforça as propriedades de tração dos compósitos.

Barbosa, *et al.*, (2016) avaliaram compósitos de resina de epóxi reforçado com micro partículas de cortiça com o tamanho entre 38-53 e 125-250 µm. Para fabricação das amostras a cortiça foi inicialmente misturada com a resina de epóxi sob centrifugação durante um período de 90 segundos a 1500 rpm. Em seguida, as misturas foram colocadas em um molde

de aço pré-aquecido e sob uma pressão de 2 MPa durante 15 min a 100°C. A produção das amostras foi realizada variando o teor de cortiça entre 0,25% e 1% em volume, dimensão de partícula entre 38-53 µm e 125-250 µm, e aplicação ou não do tratamento a plasma. O tratamento por plasma foi utilizado para modificar a superfície das partículas de cortiça, uma vez que pode aumentar consideravelmente a habilidade de um líquido manter contato com a superfície sólida, diminuindo o ângulo de contato. Estudos mostraram que a quantidade e o tamanho das partículas de cortiça influenciaram na resistência do material. O módulo de elasticidade dos compósitos variou de acordo com o tamanho da partícula de cortiça e com o tratamento aplicado: a amostra com 0,25% de cortiça entre as dimensões 38-53 µm sem tratamento a plasma apresentaram o maior módulo de elasticidade. Amostras reforçadas com partículas de cortiça e submetidas ao tratamento a plasma apresentaram um valor de tenacidade a fratura inferior aos compósitos sem tratamento.

Fernandes, *et al.*, (2014) investigaram as propriedades dos compósitos de polipropileno (PP)/cortiça em pó e PP/cortiça granulada, processadas em uma extrusora dupla rosca e moldadas por injeção. As propriedades mecânicas, térmicas e físicas dos compósitos PP/cortiça com a presença do agente de acoplamento anidrido maleico foram investigadas. A microscopia óptica foi utilizada para avaliar a distribuição das partículas de cortiça na matriz de PP, revelando uma boa distribuição na matriz sem formação de aglomerados. As propriedades de tração revelaram que o compósito com 5% em peso de cortiça apresentou um aumento de 10% na rigidez do material e a adição do agente de acoplamento melhorou a resistência a tração dos compósitos. Os autores concluíram também que os compósitos apresentaram temperaturas de cristalização mais elevadas do que o PP puro, sendo que a cortiça e o agente de acoplamento atuaram como agentes de nucleação durante o processo de cristalização do material.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abiplast. (2015). Perfil 2015. Disponível em: < <http://www.abiplast.org.br/site/estatisticas> >.

Acesso em: 03 dez. 2016

Abiquim. Comissão Setorial de Resinas Termoplásticas. (2006). São Paulo: Associação Brasileira da Indústria Química, 2007.

Ammala, A., Bateman, S., Dean, K., Petinakis, E., Sangwan, P., Wong, S., Yuan, Q., Yu, L., Patrick, C., Leong, K.H. (2011). An overview of degradable and biodegradable polyolefins. *Polymer Degradation and Stability*, 36, 1015-1049.

Amorim Revestimentos, S.A., Lourosa, disponível em www.amorim.com. Acesso em: 29/11/2016

Aroso, I. M., Fernandes, E. M., Pires, R. A., Mano, J. F., & Reis, R. L. (2015). Cork extractives exhibit thermo-oxidative protection properties in polypropylene–cork composites and as direct additives for polypropylene. *Polymer Degradation and Stability*, 116, 45-52.

Barbosa, A. Q., da Silva, L. F. M., Abenojar, J., Figueiredo, M., & Öchsner, A. (2016). Toughness of a brittle epoxy resin reinforced with micro cork particles: Effect of size, amount and surface treatment. *Composites Part B: Engineering*.

Boston, D. (2012). Rewriting Introduction to Composite Materials Software to function on 64-bit Windows Operating Systems.

Boulaia, H., Zerizer, A., Touati, Z., & Sesbou, A. (2016). Recycling the Cork Powder in a PVC-Based Composite Material: Combined Effect on Physico-Mechanical and Thermal Properties. *International Polymer Processing*, 31(3), 346-355.

Chawla, K. K. (2012). *Composite materials: science and engineering*. Springer Science & Business Media.

Chiebao, F. (2011). Manual materiais de construção e decoração.". *Cultura, Natureza, Futuro, APCOR*.

Da Silva Hipólito, I., da Silva Hipólito, R., & de Almeida Lopes, G. (2013). Polímeros na construção civil. *Proceedings of the Simpósio de Excelencia em Gestão e Tecnologia, Resende, Brazil*, 23-25.

De Moura, M. F. D. S., De Moraes, A. M. B., & de Magalhães, A. G. (2005). Materiais compósitos: materiais, fabrico e comportamento mecânico.

Eires, R., Jalali, S., & Camões, A. (2010). Novos compósitos eco eficientes para aplicações não estruturais na construção. *Revista Internacional Construlink*, 8(23), 45-55.

Feltran, M. B., & Diaz, F. R. (2007). Compósitos de PVC reforçados com fibra de vidro: utilização de técnicas de processamento convencionais da indústria brasileira. *POLIMEROS CIENCIA E TECNOLOGIA*, 17(4), 276.

Fernandes, R. L. (2013). Caracterização à Fratura de um Material Compósito com Carbono-Epóxido e Cortiça.

Fernandes, E. M., Correlo, V. M., Mano, J. F., & Reis, R. L. (2015). Cork–polymer biocomposites: Mechanical, structural and thermal properties. *Materials & Design*, 82, 282-289.

Fernandes, E. M., Correlo, V. M., Mano, J. F., & Reis, R. L. (2014). Polypropylene-based cork–polymer composites: processing parameters and properties. *Composites Part B: Engineering*, 66, 210-223.

Fernandes, E. M., Mano, J. F., & Reis, R. L. (2013). Hybrid cork–polymer composites containing sisal fibre: morphology, effect of the fibre treatment on the mechanical properties and tensile failure prediction. *Composite Structures*, 105, 153-162.

- Fernandes, E. M., Correlo, V. M., Chagas, J. A., Mano, J. F., & Reis, R. L. (2011). Properties of new cork–polymer composites: advantages and drawbacks as compared with commercially available fibreboard materials. *Composite structures*, 93(12), 3120-3129.
- Flaga, K. (2000). Advances in materials applied in civil engineering. *Journal of Materials Processing Technology*, 106(1), 173-183.
- Fortes, M. A., Rosa, M. E., & Pereira, H. (2004). A cortiça (p. 260). Lisboa: IST Press.
- Forum P., (2005). A Utilização e a Valorização da Propriedade Industrial no Sector da Cortiça. Vol.III. Coleção Leituras de Propriedade Industrial. Instituto Nacional da Propriedade Industrial.
- Gil, L. (2007). A cortiça como material de construção–Manual Técnico. Lisboa: APCOR.
- Gil, Luís. (2005). Cortiça: da Produção à Aplicação. Ed. Câmara Municipal do Seixal – Ecomuseu Municipal do Seixal.
- Gil, L., & Portugal. (1998). Cortiça: produção, tecnologia e aplicação.
- Halliwell, S.M. (2002). Polymers in Building and Construction. *Rapra Review Reports*, 13, 10, 3-27.
- Jones, R. M. (1975). Mechanics of composite materials (Vol. 193). Washington, DC: Scripta Book Company.
- Kaw, A. K. (2006). Mechanics of Composite Materials. Second Edition, Taylor & Francis Group, London, New York.
- Kiliaris, P., & Papaspyrides, C. D. (2010). Polymer/layered silicate (clay) nanocomposites: An overview of flame retardancy. *Progress in Polymer Science*, 35, 902-958.

Köhler-Hammer, C., Knippers, J., Hammer, M.R. (2016). Bio-based plastics for building facades. *Start-Up Creation*, 329 - 346.

Korjenic, A., Zach, J., & Hroudová, J. (2016). The use of insulating materials based on natural fibers in combination with plant facades in building constructions. *Energy and Buildings*, 116, 45-58.

Lima, A. C. A., da Rocha, G. S., & Konagano, N. Y. H. (2012). A utilização de plásticos na construção civil. *In congresso brasileiro de educação em engenharia – cobenge* (Vol. 40).

Mano, E. B. (1991). *Polímeros como materiais de engenharia*. São Paulo, SP: Ed. Edgard Blucher Ltda.

Mano, E. B. (2000). *Polímeros como materiais de engenharia*. São Paulo, SP: Ed. Edgard Blucher Ltda.

Marinho, J.R.D. (2005). *Macromoléculas e polímeros*. Barueri, SP: Ed. Manole Ltda.

Mark, H. (2004). *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*, 12 Volume Set. Wiley-Interscience, New York.

Nunes, L. R., Rodolfo Jr, A., & Ormanji, W. (2002). *Tecnologia do PVC*. São Paulo: ProEditores/BRASKEM.

Oréface, R. L., Hensch, L. L., & Brennan, A. B. (2001). Effect of particle morphology on the mechanical and thermo-mechanical behavior of polymer composites. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences*, 23(1), 1-8.

Perottoni Jr., A. - Correspondência particular ao autor (2007), baseada em números da Comissão Setorial de Resinas Termoplásticas da Associação Brasileira da Indústria Química.

Queirós, P. M. C. (2016). Cork to enhance damage tolerant composite systems, 12.

Rabello, M. S. (2000). Aditivação de Polímeros. São Paulo: Artliber Editora.

Rodolfo Jr, A., & Mei, L. H. I. (2007). Mecanismos de degradação e estabilização térmica do PVC: Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 17, n. 3, p. 263-275, 2007.

Rodolfo Jr, A., Nunes, L. R., & Ormanji, W. (2006). Tecnologia do PVC. Proeditores/Braskem, São Paulo, 447.

Santos, R., & Guerra, J. (2010). Os plásticos na construção civil. Fernando Pessoa. Universidade Fernando.

Silva, S. P., Sabino, M. A., Fernandes, E. M., Correlo, V. M., Boesel, L. F., & Reis, R. L. (2005). Cork: properties, capabilities and applications. *International Materials Reviews*, 50(6), 345-365.

Titow, W. V. (1984). PVC Technology. London and New York: Elsevier Applied Science Publishers. 4^a ed., 1126p.

Ventura, A. M. F. (2009). Os Compósitos e a sua aplicação na Reabilitação de Estruturas metálicas. *Ciência & Tecnologia dos Materiais*, 21(3-4), 10-19.

Wiebeck, H. & Piva, M. A. (2001). Reciclagem mecânica do PVC. CD-ROM. Instituto do PVC.

CAPÍTULO II

COMPÓSITOS DE POLICLORETO DE VINILA E CORTIÇA: AVALIAÇÃO DA MORFOLOGIA E DE PROPRIEDADES MECÂNICA, TÉRMICA E ELÉTRICA

COMPÓSITOS DE POLICLORETO DE VINILA E CORTIÇA: AVALIAÇÃO DA MORFOLOGIA E DE PROPRIEDADES MECÂNICA, TÉRMICA E ELÉTRICA

Pedro José Gomes Rodrigues^{1}, Joyce Batista Azevedo², Tatianny Soares Alves³*

¹Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais,

²Curso de Engenharia de Materiais / Faculdade SENAI-CIMATEC/BA

³Curso de Engenharia de Materiais e Programa de Pós Graduação em Ciência dos Materiais/Universidade Federal do Piauí

**pedrojgr@ufpi.edu.br*

RESUMO

A importância da obtenção de materiais conjugados com melhores propriedades que o polímero puro é uma crescente em todo o mundo, sendo o uso de agentes de reforços ou cargas uma estratégia largamente utilizada. O presente estudo teve como objetivo o desenvolvimento de compósitos de PVC/Cortiça com proporções de 5% e 10% de carga com diferentes aspectos granulométricos. Os compósitos foram processados em extrusora monorosca e posteriormente moldados por compressão em uma prensa hidráulica. A influência das concentrações de cortiça, em pó ou granulada, sobre a morfologia, propriedades mecânica, térmica e elétrica foi avaliada via Microscopias Óptica (MO) e Eletrônica de Varredura (MEV), Ensaio Mecânico de Tração, Termogravimetria, Teste de Inflamabilidade Vertical e Caracterização Elétrica para a determinação da resistividade elétrica volumétrica. Os resultados obtidos indicaram, a partir das micrografias, a formação de aglomerados de cortiça independente do tipo de carga utilizada, com tendência de maiores aglomerados quando se utilizou a cortiça granulada e em teores mais elevados. Os resultados encontrados indicaram que os compósitos PVC/cortiça em pó apresentaram um aumento no módulo de elasticidade em relação ao PVC puro, porém os resultados não foram satisfatórios para o limite de ruptura a tração, indicando a necessidade do uso de compatibilizantes. O comportamento térmico dos compósitos não foi significativamente afetado com a presença da cortiça, quando comparado com a matriz pura. A avaliação dos resultados de inflamabilidade apontou que a adição da cortiça promoveu uma redução no tempo de manutenção da chama dos compósitos em relação ao PVC puro, além disso, as amostras apresentaram um maior aspecto de carbonização nas superfícies expostas a queima. A avaliação dos resultados de resistividade elétrica volumétrica indicou que a incorporação de cortiça provocou uma redução desta propriedade em todos os compósitos, e que quanto maior a concentração de cortiça, menor a resistividade elétrica volumétrica.

Palavras-chave: PVC, Cortiça, Compósitos, Comportamento térmico, Comportamento mecânico e resistividade elétrica volumétrica.

ABSTRACT

The importance of obtaining conjugated materials with better properties than pure polymer is increasing worldwide, with the use of reinforcing agents or fillers being a widely used strategy. The present study had as objective the development of PVC / Cork composites with proportions of 5% and 10% of load with different granulometric aspects. The composites were processed in a monorail extruder and then compression molded in a hydraulic press. The influence of the concentrations of powdered or granulated cork on the morphology, mechanical, thermal and electrical properties was evaluated through Optical Microscopy (OM) and Scanning Electron (SEM), Mechanical Traction Test, Thermogravimetry, Vertical Flammability Test and Electrical Characterization for the determination of volumetric electrical resistivity. The obtained results indicated, from the micrographs, the formation of agglomerates of cork independent of the type of load used, with tendency of bigger agglomerates when the granulated cork was used and in higher levels. The results showed that PVC / cork composites showed an increase in modulus of elasticity compared to pure PVC, but the results were not satisfactory for the tensile rupture limit, indicating the need for the use of compatibilizers. The thermal behavior of the composites was not significantly affected by the presence of cork when compared to the pure matrix. The evaluation of the flammability results showed that the addition of cork promoted a reduction in the flame maintenance time of the composites in relation to the pure PVC, in addition, the samples presented a greater carbonization appearance on the exposed surfaces. The evaluation of the results of volumetric electrical resistivity indicated that the incorporation of cork resulted in a reduction of this property in all the composites, and that the higher the cork concentration, the lower the volumetric electrical resistivity.

Keywords: PVC, Cork, Composites, Thermal Behavior, Mechanical Behavior and Volumetric electrical resistivity.

1. INTRODUÇÃO

O poli(cloreto de vinila) – PVC – é o segundo termoplástico mais consumido no mundo (Dema, 2006), sendo amplamente utilizado em diversos setores como construção civil e infraestrutura, atingindo índices de consumo de 63% na construção civil. Este setor vem empregando o uso do PVC em calhas, eletrodutos, esquadrias, portas, janelas, recobrimentos de fios, cabos, forros, divisórias, galpões infláveis e estruturados, dentre outros (Perottoni Jr, 2007).

O PVC é um material plástico não originário 100% do petróleo, sendo obtido a partir de duas fontes: o cloro, correspondendo a 57% em massa da cadeia polimérica proveniente do sal marinho; e o carbono e hidrogênio, responsáveis por 43% do restante de massa da cadeia polimérica, sendo encontrados em fontes não renováveis como o petróleo.

Este polímero é inerte, isolante (térmico, acústico e elétrico), **leve e não** se degrada por oxidação, tornando-se um material ideal para aplicações de longa duração. O PVC é um polímero naturalmente resistente à propagação de chamas quando aditivado, devido à presença do átomo de cloro na sua estrutura molecular, tornando o polímero auto-extinguível (Carvalhais, 2013).

Toda resina de PVC necessita da incorporação de aditivos. Estes são responsáveis por modificar propriedades do produto final, tais como rigidez ou flexibilidade, transparência ou opacidade, ou ainda apresentar resistência à exposição ao intemperismo. Estes aditivos são classificados em diversos tipos, como por exemplo: estabilizantes, lubrificantes, pigmentos, entre outros. Um dos tipos mais utilizados na produção de compostos de PVC é o plastificante, que promove redução da dureza e aumento da flexibilidade (Lacerda, 2009).

Devido a sua estrutura, o PVC pode ser combinado com uma gama de plastificantes que produzem compostos que variam desde um sólido rígido até um material com aspecto de borracha ou até mesmo um líquido viscoso (Rodolfo Jr, & Mei, 2007). Devido a estas características, torna-se possível estudar diferentes sistemas de plastificação do PVC e sua interação com uma carga de modo a buscar novas aplicações para este material (Yang, Zeng, & Li, 1995; Doolittle, 1954).

Nos últimos anos tem ocorrido um rápido crescimento no desenvolvimento e aplicações de compósitos poliméricos com matriz termoplástica para uso na engenharia, devido à facilidade na fabricação, obtenção dos produtos e uma boa relação custo/desempenho. O desenvolvimento de compósitos a base de cortiça para aplicação na construção civil, mais especificamente na aplicação como revestimento isolante em cabos elétricos de baixa tensão pode ser uma aplicação promissora.

A Cortiça é um material de origem vegetal da casca (*súber*) dos sobreiros (*Quercussuber L*), uma espécie de longa vida (200-350 anos) com alta importância ambiental devido ao papel fundamental que ela desempenha nos processos ecológicos, tais como retenção de água, conservação do solo, e armazenamento de carbono. A extração de sua casca externa, a cortiça, é um processo sustentável, pois não danifica a árvore, e após a extração, uma nova casca volta a crescer (Pereira & Tomé, 2004).

As aplicações da cortiça são conhecidas desde 3000 anos antes de Cristo com aplicações em utensílios de pesca, na produção de rolhas nos tempos da Antiguidade Grega. É considerada uma matéria-prima nobre com um enorme potencial de uso para a indústria de construção (Camões, et al., 2012), apresentando uma estrutura celular disposta de modo compacto, semelhantes a favos de mel, de forma regular (Sargianis, Kim, & Suhr., 2012). Caracteriza-se por possuir reduzida densidade, elasticidade, compressibilidade,

impermeabilidade, elevada capacidade de absorção de vibrações, isolamento térmico, elétrico e acústico. A cortiça tem sido cada vez mais utilizada como componente para o desenvolvimento de compósitos termoplásticos devido ao baixo custo da matéria-prima, biodegradabilidade, ser uma fonte renovável e pelas boas propriedades mecânicas e térmicas que podem ser conferidas ao compósito sem causar danos ambientais. Normalmente é utilizada na construção sem funções estruturais e tem um comportamento similar ao poliestireno expandido e vermiculita expandida (Eires, Jalali, & Camões., 2010).

Na construção civil, suas características únicas potencializam a sua utilização como isolantes térmicos e acústicos (paredes, tetos, pavimentos); tetos falsos; revestimento de paredes, pisos, granulados para enchimento de espaços e misturas com argamassas; juntas isolantes e de dilatação ou compressão, e para fins industriais (Gil, L. 2007). Eires, Jalali & Camões (2010) desenvolveram compósitos eco-eficientes utilizando cortiça granulada para aplicações não estruturais na construção civil, e como elementos estruturais leves para suporte.

Nenhum material reúne todas as características necessárias em todos os domínios de aplicação. De forma alternativa, pode-se combinar dois ou mais materiais e sobrepor suas propriedades, resultando em um material compósito (Martins, 2013). Os materiais compósitos de matriz polimérica têm recebido grande atenção por parte de diferentes segmentos como academia e indústria por apresentarem resistência mecânica e leveza, possibilidade de redução de custo, dentre outras características (Ribeiro, 2009). E diante deste contexto, o objetivo desse trabalho foi desenvolver compósitos empregando a cortiça como carga natural e avaliar a morfologia, propriedades mecânica, térmica e elétrica para possível aplicação em revestimentos de cabos elétricos.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 MATERIAIS

2.1.1 Matriz Polimérica

Foi utilizado como matriz polimérica o PVC - Poli (cloreto de vinila) - fabricado pela Karina Indústria e Comércio de Plásticos Ltda – São Paulo, *grade* BWF lote 650922, aditivado com o antichama BWF-B. O polímero foi doado pela Indústria Copperline Fios e Cabos sediada na Cidade de Teresina - PI. Na Tabela 2.1 são apresentadas algumas características do material fornecido, segundo ficha técnica do fabricante.

Tabela 2.1 – Características do PVC utilizado nesse trabalho.

Densidade	1,52 g/cm ³
Absorção de água (24h)	0,10 %
Resistividade Elétrica Volumétrica	3,5e13 Ohm*cm
Tensão de Ruptura	1,6 kgf/mm ²
Índice de Oxigênio	31%
Temperatura de amolecimento	60 - 90 °C

Fonte: Ficha Técnica Karina Ind. e Comércio de Plásticos Ltda.

2.1.2 Carga Vegetal

Foi empregada como carga vegetal a cortiça granulada (# 1-2 mm) ou micronizada (# 74 µm), fornecida pela Empresa Corticeira Paulista, São Paulo.

2.2 MÉTODOS

2.2.1 Preparação dos compósitos

2.2.1.1 Processamento via Extrusão

O Poli(cloreto de vinila) (PVC) e a cortiça granulada ou em pó foram previamente misturados por tamboreamento em diferentes proporções, conforme indicado nas formulações apresentadas na Tabela 2.2, antes do processamento via extrusão.

Tabela 2.2 – Formulação dos compósitos.

Compósitos	PVC (%)	Cortiça em Pó (%)	Cortiça Granulada (%)
PVC	100	0	0
PVC/5CP	95	5	0
PVC/5CG	95	0	5
PVC/10CP	90	10	0
PVC/10CG	90	0	10

Legenda: CP – Cortiça em pó; CG – Cortiça Granulada.

Fonte: Arquivo pessoal (2016)

As proporções de cortiça foram definidas com base nas condições de processamento do equipamento utilizado, uma extrusora monorosca sem *side – fider*. Dada a baixa densidade da cortiça, o volume ocupado pela carga é elevado e acaba por dificultar a etapa de alimentação gravimétrica do material e conseqüentemente a incorporação da carga ao polímero pode ser comprometida.

Após definição das proporções, as concentrações foram processadas em extrusora monorosca modelo AX-16 da AX Plásticos, sob perfil de temperatura nas zonas Z1, Z2 e Z3, respectivamente: 175, 185 e 190°C, e rotação de 50 rpm.

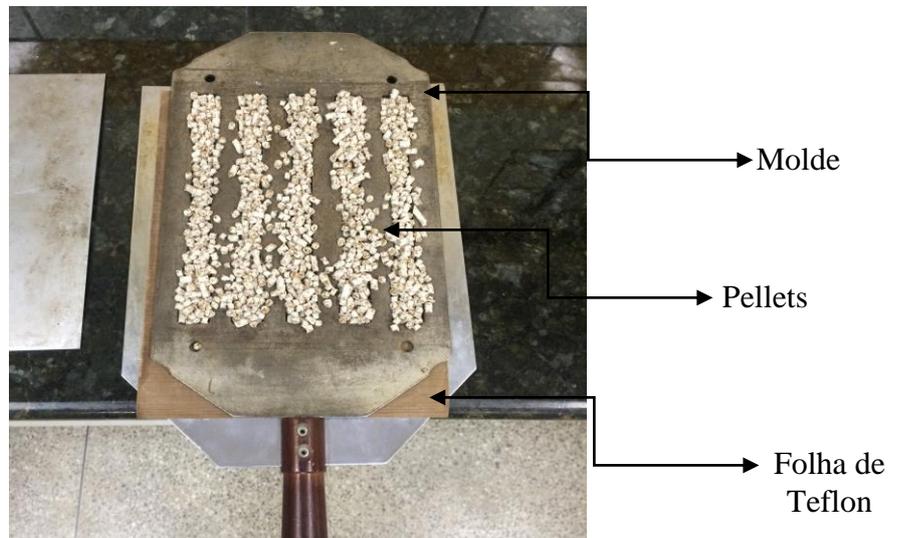
Seguido ao processo de extrusão foi realizada a secagem prévia dos compósitos à temperatura ambiente por um intervalo de 2 dias. Removido o excesso de umidade, os compósitos foram peletizados e, em seguida, acondicionados em estufa sob temperatura de 70°C durante 24 horas.

Como parâmetro de comparação, o PVC puro foi extrusado nas mesmas condições dos compósitos.

2.2.2 Moldagem dos Corpos de Provas

Os compósitos foram moldados por compressão em uma prensa hidráulica modelo MH-08-MN da MH Equipamentos, com dimensões preconizadas pelas normas ASTM D638 e UL94V para posterior caracterização. Na Figura 2.1 é apresentado o molde para confecção dos corpos de prova.

Figura 2.1 - Molde para confecção de corpos de prova.



Fonte: Arquivo pessoal (2016)

Os compósitos foram moldados sob compressão inicial de 0,5 toneladas a 195°C durante 1 minuto e 30 segundos, e compressão final de 2,5 toneladas a 195°C durante 4 minutos. As condições de moldagem foram mantidas para todas as composições.

2.3 CARACTERIZAÇÃO DA MATRIZ E DOS COMPÓSITOS

2.3.1 Análise Termogravimétrica (TG)

Método utilizado para avaliar a temperatura de degradação de materiais, a termogravimetria foi realizada sob atmosfera de oxigênio com fluxo de 100 ml/min, taxa de aquecimento de 10°C/min e com variação térmica de 32°C a 1000°C, em equipamento de marca SDT Q600 V 20.9 Build 20, do Laboratório Interdisciplinar de Materiais Avançados – LIMAV, da Universidade Federal do Piauí – UFPI.

2.3.2 Análise Microscópica

2.3.2.1 Microscopia Óptica – MO

A microscopia óptica foi utilizada com o intuito de caracterizar a morfologia dos compósitos de PVC/Cortiça formados. As análises foram realizadas no Laboratório de Polímeros e Materiais Conjugados (LAPCON) da UFPI utilizando-se o microscópio óptico Leica Microsystems MD500 com câmera de captura ICC 50E, operando em modo reflexão. Foram capturadas imagens com ampliação de 40X (500 μ m) e 100X (200 μ m) na superfície das amostras e na região de fratura dos corpos de prova após realizado o teste de resistência a tração.

2.3.2.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

A caracterização por MEV foi realizada com o intuito de avaliar a dispersão da cortiça na matriz polimérica, sob maiores faixas de ampliação.

Os compósitos foram avaliados em microscópio Shimadzu modelo SSX-550 com voltagem de aceleração de feixe de elétrons de 15 kV no Centro de Tecnologia do Gás e Energias Renováveis em Natal, RN.

2.3.3 Inflamabilidade

Para avaliação da resistência à chama dos compósitos foi realizado o teste de inflamabilidade vertical, seguindo as condições estabelecidas pela Underwrites Laboratories (Norma UL 94) indicadas na Tabela 2.3.

O teste foi realizado em um conjunto de cinco corpos de prova, individualmente fixados na posição vertical e expostos a aplicação de uma chama de 2mm de altura, para posterior

análise e classificação de acordo com as exigências da norma empregada. Conforme descrição da norma, a classificação V-0 é dada ao material no qual a chama se extinguiu em menos de 10s após a retirada da fonte de calor, com a média do tempo da combustão do conjunto de cinco amostras ensaiadas não excedendo 50s para duas aplicações de queima. O tempo (t1) representa o tempo que a chama levou para se extinguir após a retirada da primeira queima. O tempo (t2) é o tempo que a chama levou para se extinguir após ter sido reaplicada uma fonte de calor na amostra. O tempo t1 e t2, para as 5 amostras, não devem ultrapassar os 50s. O tempo máximo de extinção da incandescência da amostra, após a segunda queima, não deve ultrapassar os 30s e a chama propagada no material não pode queimar a braçadeira que prende o corpo de prova e não deve apresentar gotejamento inflamável.

A classificação V-1 é dada ao material no qual a chama se extinguiu em menos de 30s após a retirada da fonte de calor, com a média do tempo da combustão do conjunto das cinco amostras ensaiadas não excedendo 250s para as duas aplicações de queima. O tempo máximo de extinção da incandescência da amostra, após a segunda queima, não deve ultrapassar os 60s. A chama propagada no material não pode queimar a braçadeira que prende o corpo de prova e não deve apresentar gotejamento inflamável. A classificação V-2 é dada quando são obtidos os mesmos resultados da classificação V-1, contudo ocorrendo gotejamento inflamável no algodão colocado abaixo da amostra.

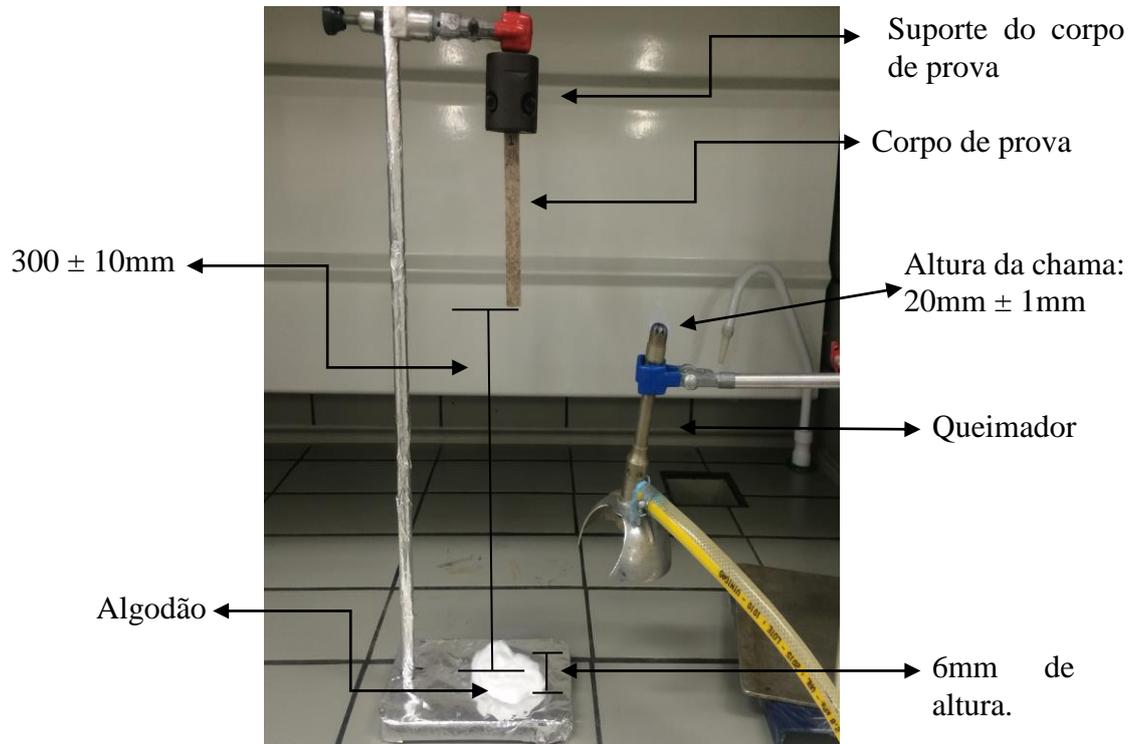
Na Tabela 2.3 são apresentados os critérios de avaliação do teste de queima vertical e na Figura 2.2 o aparato utilizado no ensaio de inflamabilidade.

Tabela 2.3 – Critérios de avaliação do teste de queima vertical (Norma UL 94 - V).

Critério de avaliação	Classificação		
	V0	V1	V2
Número de corpos de provas testados	5	5	5
Número de ignições aplicadas	2	2	2
Tempo de aplicação da chama, por ignição (seg.)	10	10	10
Tempo máximo para a chama se extinguir, após a primeira queima (seg.) = t1	10	30	30
Tempo máximo para a chama se extinguir, após a segunda queima (seg.) = t2	10	30	30
Tempo total de queima (seg.) = t1 + t2.	50	250	250
Gotas incandescentes queimam o algodão	Não	Não	Sim
Tempo máximo de extinção da incandescência, após a segunda queima (seg.)	30	60	60
Chama da queima do corpo de prova atinge o suporte de fixação.	Não	Não	Não

Fonte: Norma UL 94

Figura 2.2 - Ensaio de inflamabilidade baseado na Norma UL 94-V.



Fonte: Arquivo pessoal (2016)

O teste foi realizado no Laboratório de Polímeros e Materiais Conjugados da Universidade Federal do Piauí - UFPI.

2.3.4 Ensaio mecânico de tração

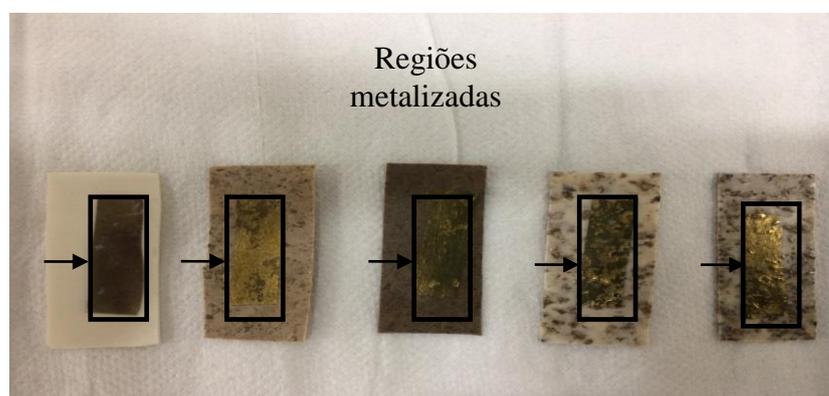
O ensaio de resistência à tração foi realizado no Laboratório Interdisciplinar de Materiais Avançados – LIMAV da UFPI utilizando-se máquina de ensaio universal EMIC DL 30000N, com célula de carga de 5kN, de acordo com os parâmetros definidos pela norma ASTM D638-10. O teste foi executado com seis corpos de prova para cada compósito, à temperatura ambiente e velocidade de deslocamento das garras de 50 mm/min. O comportamento mecânico das amostras foi analisado por meio das seguintes propriedades: módulo de elasticidade, tensão de escoamento e tensão de ruptura.

2.3.5 Caracterização elétrica dos compósitos – resistividade elétrica volumétrica (REV)

Um dos parâmetros físicos utilizados na caracterização das propriedades elétricas de um material é a resistividade elétrica volumétrica (REV), que constitui grandeza relacionada ao impedimento sofrido pelas espécies portadoras de cargas ao se deslocarem pelo material. As amostras avaliadas na forma de filmes finos, obtidas via compressão sob temperatura de 195°C, foram metalizadas com ouro em alto vácuo (Figura 2.3), empregando-se metalizadora AUTO 306 VACUUM COATER. Uma massa de aproximadamente 0,10 g de Au com pureza 99,99% foi empregada no processo, resultando numa espessura aproximada de 90 nm na superfície das amostras. Para o processo de evaporação utilizou-se vácuo de aproximadamente 10^{-6} mbar e corrente de evaporação de 6,0 A.

A medição da resistividade, sob tensão contínua variando de 0 a 20 V, foi realizada em triplicata com base nas Normas ABNT NBR 5403-11 e NBR 5407-89 pelo método de duas pontas no Laboratório de Medidas Elétricas do Curso de Física da UFPI, utilizando-se equipamento SOLARTRON SI 1260. Obtidos os resultados da tensão e corrente contínuas foram calculados os valores da resistência, conforme Equação 2.1, e em seguida a REV do material pela Equação 2.2.

Figura 2.3 - Filmes de PVC e PVC/cortiça metalizados.



Fonte: Arquivo pessoal (2016)

$$R = \frac{V}{I} \quad \text{Eq. (2.1)}$$

Onde:

R = resistência elétrica, em Ω .

V = tensão, em Volts.

I = corrente elétrica, em A.

$$\rho = \frac{RA_e}{L} \quad \text{Eq. (2.2)}$$

Onde:

ρ = resistividade elétrica volumétrica, em $\Omega \cdot \text{cm}$.

A_e = área do eletrodo em contato com o corpo de prova, em cm^2 .

L = espessura do corpo de prova, em cm.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

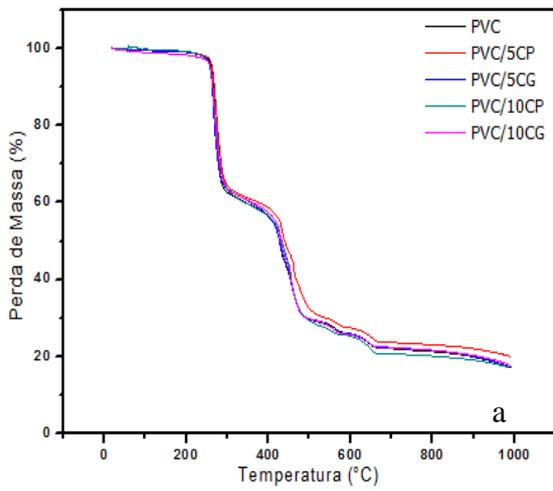
3.1 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA - TG

As curvas da análise termogravimétrica (TG) com diferentes intervalos de temperatura e as correspondentes derivadas (DTG) do PVC e respectivos compósitos são apresentadas na Figuras 2.4 (a - h).

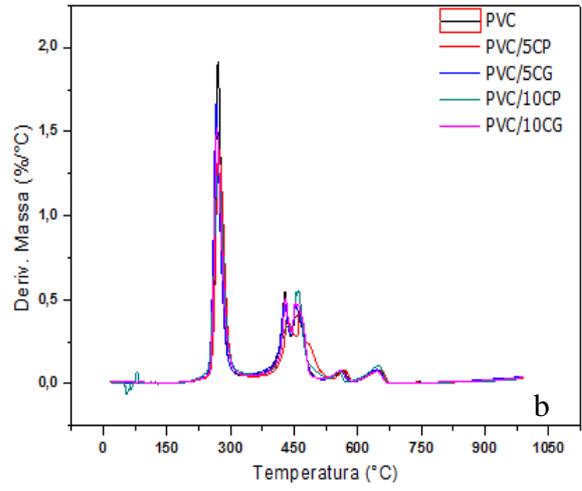
De acordo com os resultados obtidos, os perfis de degradação da matriz polimérica corroboram com os apontados na literatura, com estágios iniciais de decomposição do PVC ocorrendo até 240°C, com perdas de 3% em massa correspondendo a perda de umidade e a perda de HCl, e outro estágio na faixa entre 240°C - 310°C com a eliminação total do HCl, provocando perda de massa de 37%. Neste estágio acontece a formação de polienos, catalisando o processo de degradação da matriz (Jordan, Suib, & Koberstein, 2001). O estágio entre 310°C - 410°C é representado pela resistência a quebra das ligações duplas dos polienos formadas após a degradação do ácido clorídrico, promovendo pouca alteração na massa. Na segunda etapa de maior perda de massa, entre 410°C - 480°C (Figuras 2.4 e - f), foi observada uma perda de massa de 25%, atribuída a cisão das sequências de polienos formadas durante o primeiro estágio de degradação, segundo Pita & Monteiro (1996). Ou seja, ocorre a ruptura das insaturações (C=C) formadas com a eliminação do HCl no primeiro estágio de degradação (Rodolfo, Nunes, & Ormanji, 2006; Del Carpio, 2009). E por fim, entre 500°C - 670°C (Figuras 2.4 g - h), ocorre um terceiro estágio de decomposição que pode ser atribuído à presença dos aditivos plastificante e antichama BWF, com perda de 7% em massa.

De acordo com Jakubowicz (2003), a degradação polimérica pode ocorrer por reação em cadeia e os subprodutos (hidroperóxidos) quebram a cadeia do polímero em segmentos de baixo peso molecular.

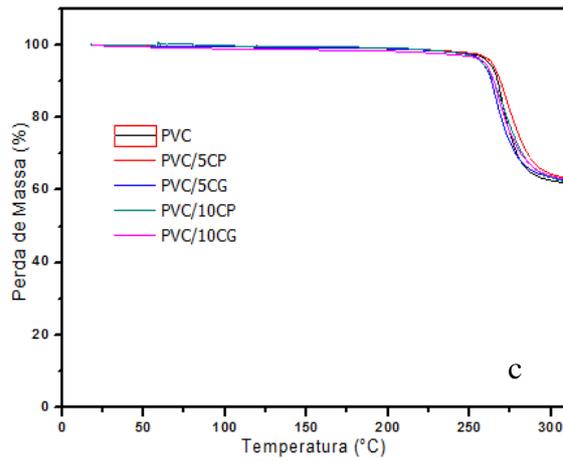
Figura 2.4 - Curvas TG e DTG do PVC puro e dos compósitos.



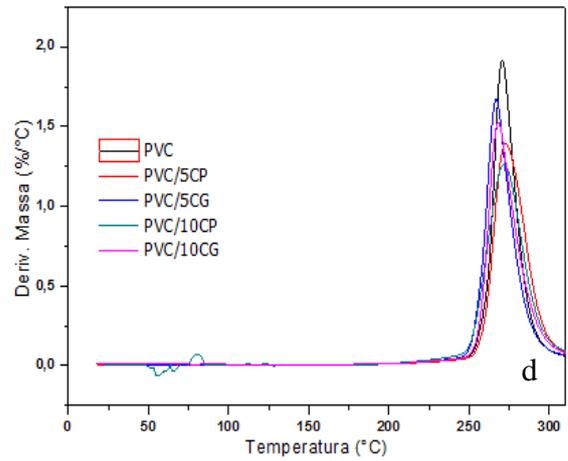
Curvas TG entre 0°C - 1000°C



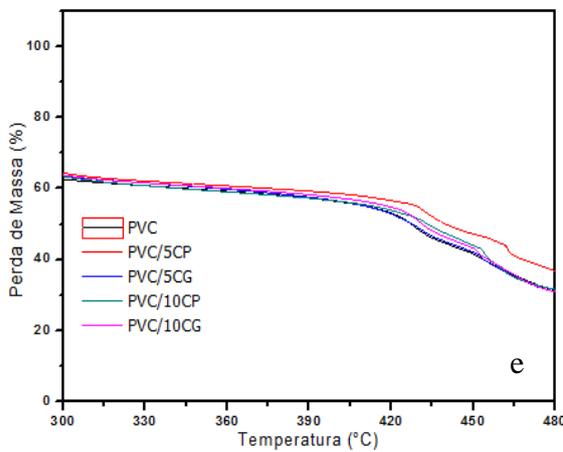
Curvas DTG entre 0°C - 1000°C



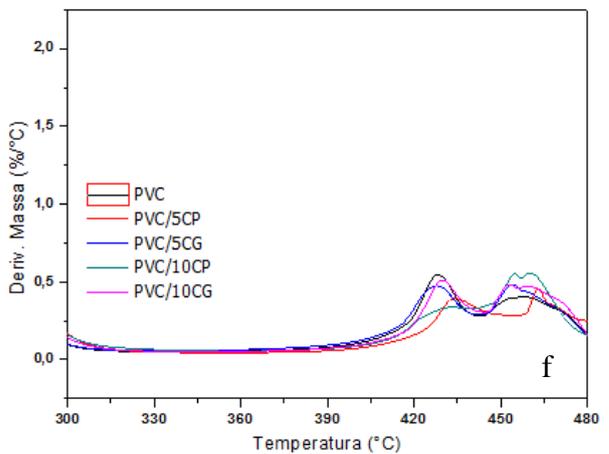
Curvas TG entre 0°C - 310°C



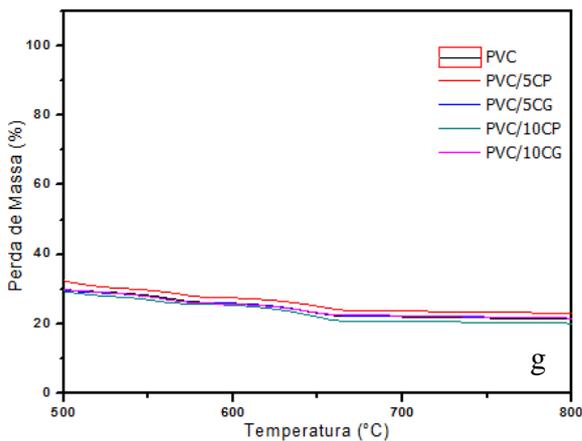
Curvas DTG entre 0°C - 310°C



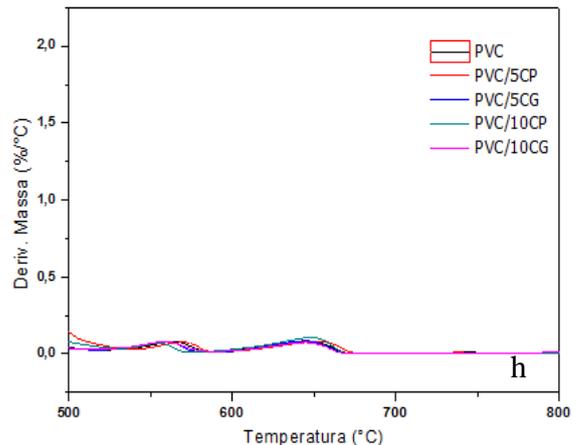
Curvas TG entre 300°C - 480°C



Curvas DTG entre 300°C - 480°C



Curvas TG entre 500°C - 800°C



Curvas DTG entre 500°C - 800°C

Fonte: Arquivo pessoal (2016)

De acordo com a literatura no processo de degradação da cortiça natural ocorre perda de massa de aproximadamente 63% no intervalo entre 200°C e 300°C, com a decomposição de dois dos seus principais constituintes, a lenhina e frações de suberina, conforme observado por Rosa e Fortes (1988). Entre 300°C e 400°C ocorre a degradação dos polissacarídeos constituídos por celulose e hemicelulose, mas com discretas variações de massa (Averous, & Boquillon, 2004).

Em níveis percentuais, no intervalo de 400°C a 430°C, a perda de massa de 33% foi atribuída ao restante de suberina existente na estrutura, uma vez que este é o componente mais resistente termicamente da cortiça (Pereira, 1992).

Para os compósitos, observa-se que o comportamento térmico característico da matriz polimérica prevalece, tendo para todos sistemas estágios de degradação semelhantes: até aproximadamente 230°C ocorre a evaporação da umidade e a decomposição do PVC (perda de HCl); entre 240°C - 310°C houve uma perda aproximada de 38% de massa, correspondendo a eliminação total do HCl, parte da desidrocloração do PVC e frações de lenhina e suberina da cortiça. Entre 310°C - 480°C houve uma perda aproximada de 32% de

massa, associado à decomposição da estrutura da cadeia principal do PVC e eliminação total da suberina da cortiça. E como esperado, na faixa de temperatura entre 540°C - 670°C, a perda de massa de aproximadamente 7% pode ser atribuída à degradação do aditivo plastificante antichama BWF, visto que toda cortiça nessa faixa de temperatura teria sido degradada.

Becker, Kleinschmidt, & Blazer, (2014) avaliaram a degradação térmica dos compósitos de PVC rígido (PVCr) e fibra de bananeira (FB), e por análise termogravimétrica observaram que a adição das FB tratadas e não tratadas não alterou de forma significativa o comportamento térmico dos compósitos quando comparados a matriz de PVCr puro. Os autores atribuíram esse comportamento a fraca interação entre fibras e matriz, mesmo quando a carga foi submetida a tratamento químico.

Analisando-se as curvas DTG (Figuras 2.4 b, d, f, h), percebe-se que a temperatura máxima de perda de massa não é alterada para os compósitos em relação à amostra de PVC puro e que a adição de cortiça não alterou de forma acentuada o processo de degradação da matriz.

Na Tabela 2.4 são apresentadas as temperaturas de início (T_1) e fim (T_2) do evento térmico, a temperatura máxima de perda de massa (T_p) e os percentuais de perdas de massa (Δm e Δm_{total}) para o PVC e os compósitos de PVC/5CP, PVC/5CG, PVC/10CP, PVC/10CG.

Tabela 2.4 – Eventos térmicos e perda de massa do PVC puro e dos compósitos.

Amostras	T₁ (°C) → T₂ (°C)	T_p (°C)	Δm%	Δm_{total}%
PVC	0-230	-	3%	3%
	240-310	270	37%	40%
	310-410	-	6%	46%
	410-480	427	25%	71%
	500-670	568	7%	78%
PVC/5CP	0-230	-	3%	3%
	240-310	272	37%	40%
	310-410	-	4%	44%
	410-480	465	21%	65%
	500-670	562	8%	73%
PVC/5CG	0-230	-	3%	3%
	240-310	268	37%	40%
	310-410	-	6%	46%
	410-480	426	25%	71%
	500-670	562	7%	78%
PVC/10CP	0-230	-	3%	3%
	240-310	270	37%	40%
	310-410	-	6%	46%
	410-480	463	25%	71%
	540-670	549	9%	80%
PVC/10CG	0-230	-	3%	3%
	240-310	269	37%	40%
	310-410	-	5%	45%
	410-480	429	26%	71%
	540-670	562	7%	78%

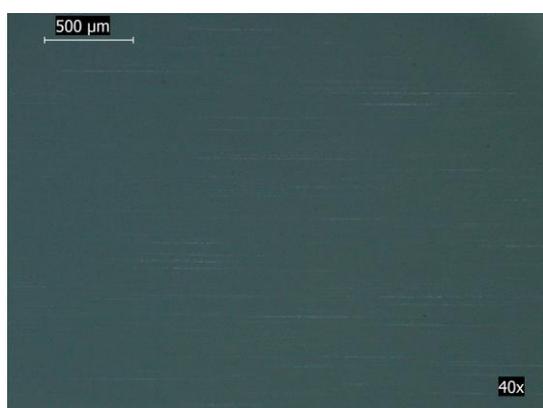
Fonte: Arquivo pessoal (2016)

3.2 AVALIAÇÃO MORFOLÓGICA

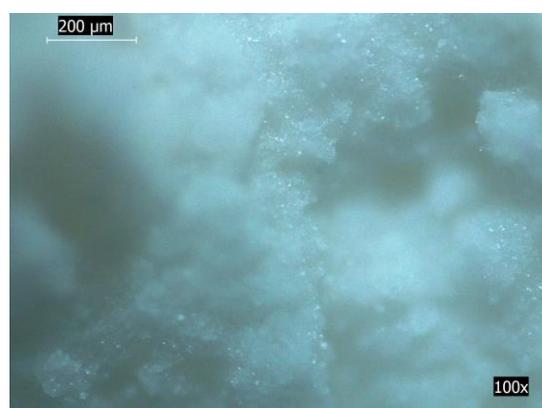
3.2.1 Microscopia óptica – MO

As microscopias ópticas da superfície do corpo de prova e das respectivas regiões de fratura do PVC e seus compósitos são apresentadas na Figura 2.5.

Figura 2.5 - Micrografias ópticas do PVC e respectivos compósitos.



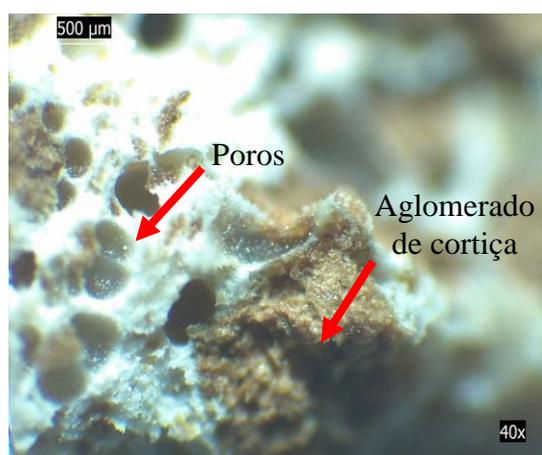
Superfície sem fratura: PVC



Região de fratura: PVC



Superfície sem fratura: PVC/5CP



Região de fratura: PVC/5CP



Superfície sem fratura: PVC/10CP



Região de fratura: PVC/10CP



Superfície sem fratura: PVC/5CG



Região de fratura: PVC/5CG



Superfície sem fratura: PVC/10CG



Região de fratura: PVC/10CG

Fonte: Arquivo pessoal (2016)

Como observado desde o processamento, a amostra de PVC apresentou uma superfície lisa, sem irregularidades aparentes, e por meio da região de fratura verifica-se que o material está isento de bolhas e porosidade. Porém, para os compósitos foram observadas várias regiões com concentrações de cortiça, presença de porosidade e bolhas, sendo ainda mais acentuadas estas características para os compósitos de maior concentração de cortiça.

Analisando o compósito PVC/5CP foi possível observar uma mistura ineficiente com regiões de características distintas e formação de aglomerados, além da presença de porosidade e bolhas. Para a amostra de PVC/10CP, percebe-se aumento da quantidade de bolhas, aglomerados e porosidade no material, indicando a dificuldade de dispersão da carga para o perfil de rosca, visto o baixo nível de cisalhamento empregado. A presença de aglomerados e de porosidade pode ser atribuída, segundo Marinelli et al. (2008), a formação de gases devido ao aprisionamento de substâncias voláteis durante o ciclo de moldagem, o que leva a um produto final com microestrutura semelhante a um expandido estrutural, e também a água absorvida pode acelerar a degradação térmica da celulose, dificultando a formação de interfaces homogêneas. Esta distribuição de porosidade também é influenciada pelas condições de processamento e, conseqüentemente, terá efeitos sobre as propriedades mecânicas do material modificado.

Para os compósitos de PVC/5CG e PVC/10CG, a presença dos aglomerados foi observada em maior intensidade ao longo do corpo de prova. Esta característica pode ser atribuída a granulometria do material que impede uma melhor dispersão, diminuindo a interação entre a carga/matriz, e conseqüentemente gerando um aumento de aglomerados de cortiça, presença de poros e bolhas.

Um dos principais problemas no processamento de compósitos de madeira/termoplásticos é a tendência de madeira não tratada formar aglomerados, devido uma

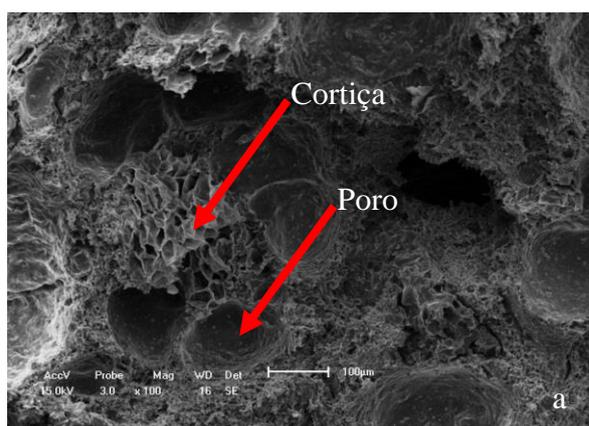
elevada aderência entre as fibras intramoleculares (Bledzki, Reihmane, & Gassan, 1998). Portanto, esta pode ser uma característica no momento do uso de cortiça, caso sejam utilizadas as condições de extrusão adequadas (Fernandes, *et al.*, 2014).

Mesmo utilizando agentes compatibilizantes nos compósitos, a boa dispersão das partículas só é possível com o auxílio de grandes forças de cisalhamento. Fernandes, *et al.* (2014) apresentaram micrografias de compósitos de polipropileno (PP) e cortiça, revelando uma boa dispersão e distribuição das partículas de cortiça promovidas pelo processo de extrusão dupla rosca, como consequência dos maiores esforços cisalhantes aplicados ao processo (Pavlidou, & Papaspyrides, 2008).

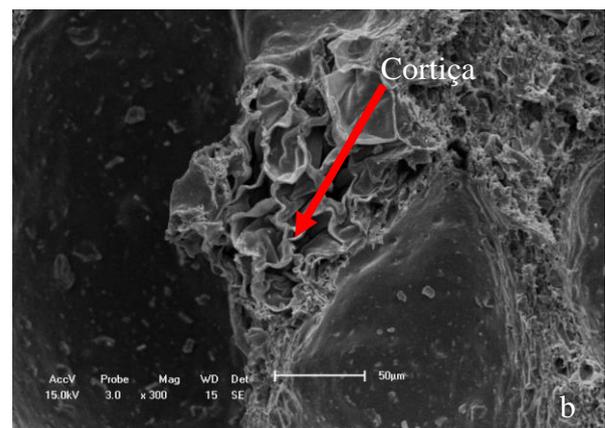
3.2.2 Microscopia eletrônica de varredura - MEV

A morfologia da superfície de fratura, após o teste de tração dos compósitos é apresentada na Figura 2.6.

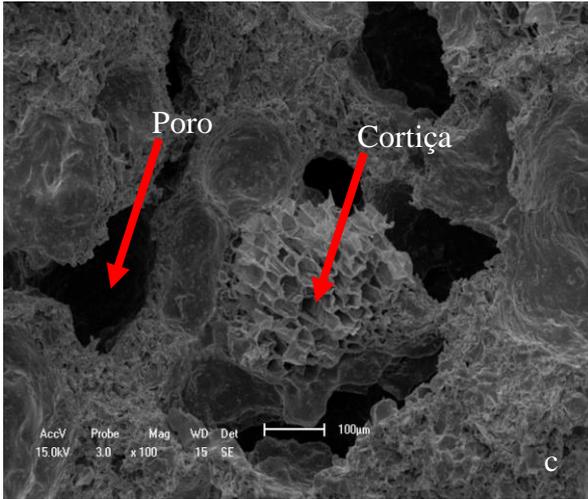
Figura 2.6 - Micrografias por MEV dos compósitos de PVC/Cortiça.



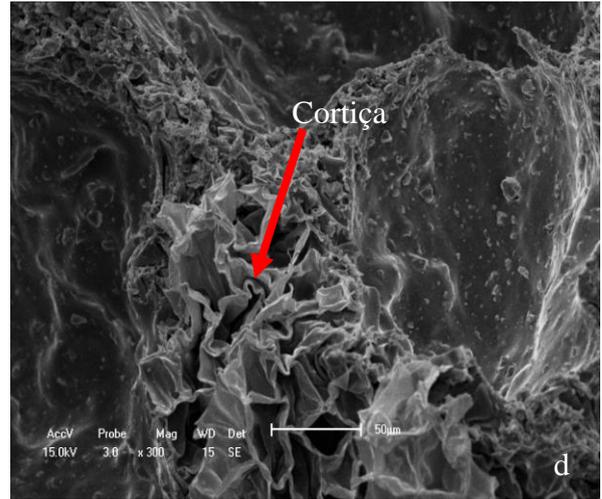
Fratura PVC/5CP (100X)



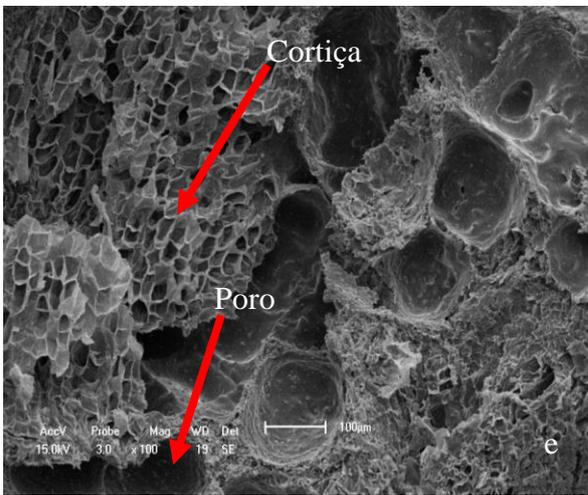
Fratura PVC/5CP (300X)



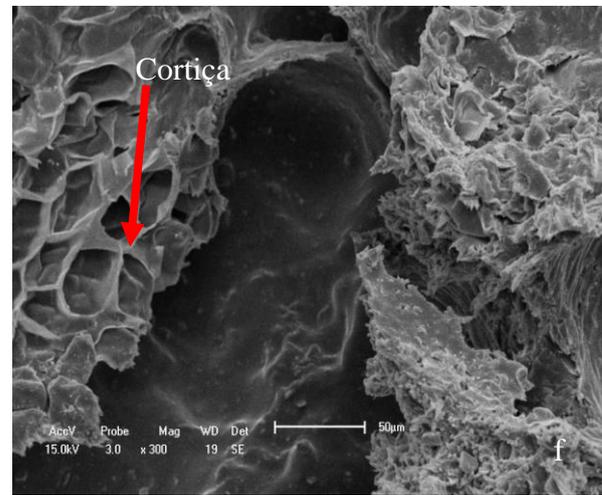
Fratura PVC/10CP (100X)



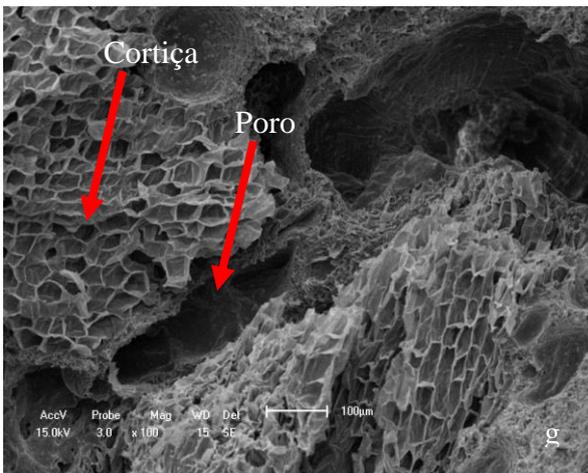
Fratura PVC/10CP (300X)



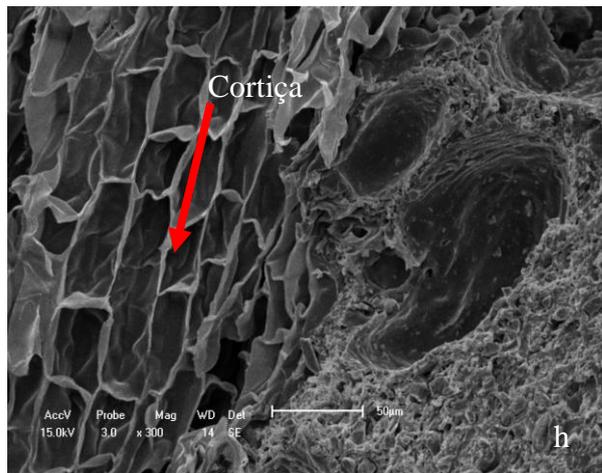
Fratura PVC/5CG (100X)



Fratura PVC/5CG (300X)



Fratura PVC/10CG (100X)



Fratura PVC/10CG (300X)

Fonte: Arquivo pessoal (2016)

Nas micrografias obtidas em alta ampliação, foi possível observar nos compósitos de PVC/5CP (Figura 2.6 a, b) e PVC/10CP (Figura 2.6 c, d), aglomerados de carga na matriz evidenciando a baixa eficiência de dispersão para o compósitos e a falta de compatibilidade entre os componentes. Foi observada ainda a geração de poros em todas as composições, o que de antemão justifica a dispersão dos valores de propriedades físicas e mecânicas dos compósitos desenvolvidos, como será apresentado a seguir.

A superfície de fratura dos compósitos de PVC/5CG (Figura 2.6 e, f) e PVC/10CG (Figura 2.6 g, h) apresentou um maior grau de aglomerados, provavelmente pelo aspecto granulométrico da carga, sendo mais difícil dispersar. Por se tratar de uma granulometria elevada e devido a baixa taxa de cisalhamento, a cortiça manteve sua estrutura celular conservada após processamento, sendo este um aspecto relevante para diferentes aplicações.

A partir da análise morfológica dos sistemas foi possível observar que todos os compósitos apresentaram fraca interação entre o polímero e a cortiça. Essa fraca interação foi atribuída ao diferente grau de mistura e a ausência de agente de acoplamento para melhorar a ligação de interface (Fernandes, *et al.*, 2010).

Fernandes, *et al.*, (2013) avaliaram a morfologia por MEV de compósitos de polietileno de alta densidade com pó de cortiça e fibras curtas de coco e observaram o desenvolvimento de uma fratura frágil devido ao alto teor de pó de cortiça utilizado e a presença de cavidades entre a fibra de coco e o polímero. No entanto, com a adição de 2% de anidrido maleico foi produzido um efeito oposto, sendo observada nas superfícies fraturadas boa adesão interfacial entre as fibras de coco, cortiça e polietileno.

Geralmente, os agentes de acoplamento químico são moléculas que tem duas funções: a primeira consiste em reagir com os grupos hidroxila de cortiça e de fibras celulósicas (grupos

OH), e a segunda reagir com os grupos funcionais da matriz. O resultado esperado é a redução destes grupos que contribuem para o caráter hidrofílico, promovendo assim a compatibilidade entre a matriz e o componente natural (Pandey, *et al.*, 2010).

Boulahira, *et al.*, (2016) avaliaram por microscopia eletrônica de varredura (MEV) compósitos de PVC/cortiça em pó, preparadas com agente compatibilizante (Anidrido Maleico – AM). Os resultados indicaram que a incorporação de cortiça em pó na matriz de PVC na presença de um agente de acoplamento foi positiva, obtendo uma dispersão homogênea evidenciando assim uma boa adesão interfacial entre os dois componentes. Desta forma, fica evidente que a adição do compatibilizante melhora a adesão interfacial, conseqüentemente favorecendo o desempenho dos compósitos. Resultados semelhantes foram encontrados por Fernandes, *et al.*, (2014) para compósitos de PP/cortiça.

Becker, Kleinschmidt, & Blazer, (2014) estudaram a influência da fibra de bananeira nas propriedades do PVCr. Por meio das micrografias obtidas via MEV foi possível perceber que os compósitos tratados com anidrido maleico apresentaram uma maior afinidade, boa dispersão na matriz polimérica e conseqüentemente maior resistência ao impacto e menor absorção de água.

3.3 TESTE DE INFLAMABILIDADE

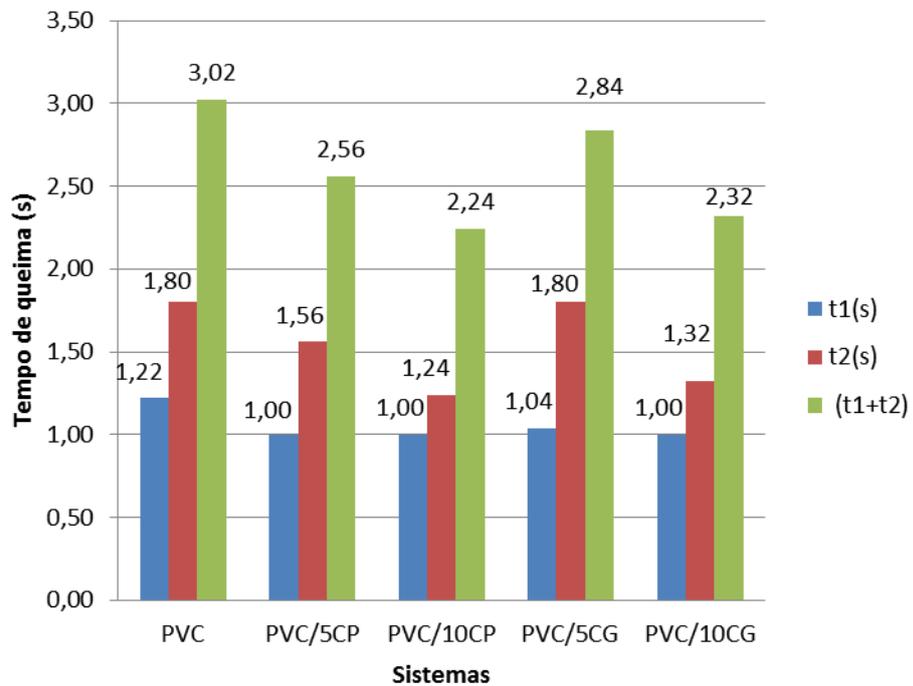
Para análise do comportamento sob chama inicialmente foi avaliado o comportamento do material na direção horizontal (UL 94 HB), para determinação dos seguintes parâmetros: velocidade média de propagação de chama, presença de gotejamento e a queima total do material durante o ensaio.

Todos os corpos de provas apresentaram supressão da chama após a retirada da fonte de calor e conseqüentemente não foi possível determinar os parâmetros. Esse tipo de

comportamento é característico de polímeros como o PVC, segundo Weil, Levchik, & Moy., (2006).

Devido o comportamento das amostras não se enquadrar na norma anterior, a avaliação do comportamento sob chama foi realizada segundo a norma UL 94 V, com queima vertical. A Figura 2.7 e a Tabela 2.5 apresentam os resultados obtidos no teste de queima.

Figura 2.7 – Resultado do teste de inflamabilidade vertical.



Fonte: Arquivo pessoal (2016)

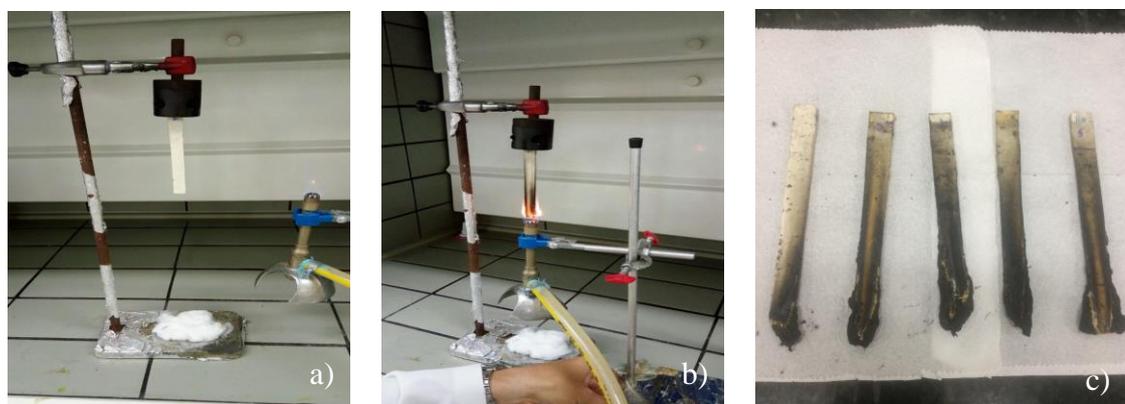
Tabela 2.5 - Dados do teste de inflamabilidade de acordo com a norma UL 94 V.

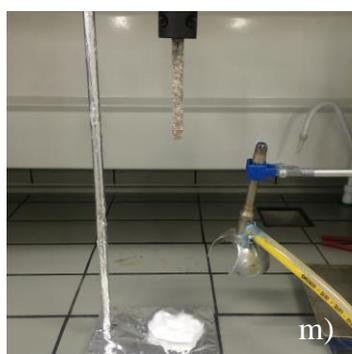
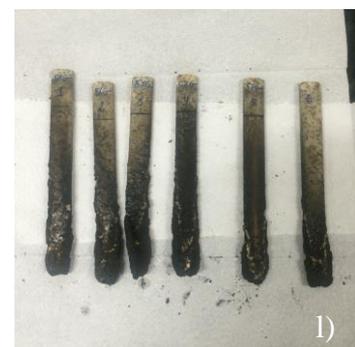
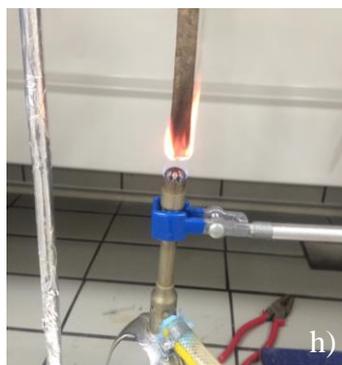
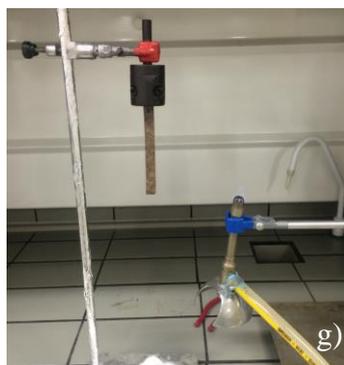
Amostras	Composições			Queimou a abraçadeira	Gotejamento	Classificação
	PVC Puro	Cortiça em Pó	Cortiça Granulada			
PVC	100%	-	-	Não	Não	V-0
PVC/5CP	95%	5%	-	Não	Não	V-0
PVC/5CG	95%	-	5%	Não	Não	V-0
PVC/10CP	90%	10%	-	Não	Não	V-0
PVC/10CG	90%	-	10%	Não	Não	V-0

Fonte: Arquivo pessoal (2016)

Durante a execução do ensaio, como registrado na Figura 2.8 (a - o) verificou-se a presença de fumaça escura, provavelmente resultante da decomposição do plastificante presente na composição do PVC flexível, e também contendo cloreto de hidrogênio (gás tóxico) (Titow, 1984).

Figura 2.8 - Registros fotográficos dos corpos de provas de PVC puro (imagens a, b, c), PVC/5CP (imagens d, e, f), PVC/10CP (imagens g, h, i), PVC/5CG (imagens j, k, l), PVC/10CG (imagens m, n, o), quando submetidos ao ensaio da norma UL 94 V.





Fonte: Arquivo pessoal (2016)

De acordo com os resultados obtidos as amostras de PVC puro não apresentaram gotejamento e não queimaram totalmente, sendo a chama extinta durante o ensaio. De acordo com os requisitos estabelecidos pela Norma UL 94 V, a matriz apresentou classificação V-0. Este comportamento era esperado, pois a resina de PVC contendo átomo de cloro em sua estrutura possui como característica inerente a capacidade de inibição da propagação da chama e de auto-extinção. Por auto-extinção entende-se a capacidade de um material de cessar a combustão imediatamente após a remoção da fonte de calor ou da chama (Rodolfo Jr, Nunes, & Ormanji, 2006).

As formulações de PVC flexível, devido à presença de teores variados de plastificantes são menos resistentes à ignição. Essa característica, entretanto, pode ser melhorada com a utilização de plastificantes de baixa inflamabilidade ou aditivos retardantes de chama (De Castro, 2008) e de acordo com os dados da Figura 2.7 pode-se observar que a adição da cortiça provocou a redução no tempo de chama em relação ao PVC puro.

Os compósitos contendo cortiça em pó, PVC/5CP e PVC/10CP, apresentaram, respectivamente, redução no tempo de chama de 15% e 25%. Com a inserção da carga granulada os compósitos PVC/5CG e PVC/10CG tiveram reduções de 6% e 23%. Estas reduções indicam que a carga auxiliou no processo de supressão da chama ao longo da amostra, possivelmente atuando como isolante térmico.

Analisando os compósitos a base de cortiça na forma de pó (PVC/5CP e PVC/10CP), observa-se que o aumento do teor de carga promoveu discretas reduções no tempo de extinção da chama para as duas aplicações. Esse resultado pode ser atribuído a presença de suberina na composição da cortiça, que possui capacidade de isolamento, evitando a propagação mais extensa da chama. No momento em que a chama incide sobre a amostra a parte exterior fica carbonizada, mas ainda atua como barreira impedindo a propagação para o interior do material (Lu, 2014).

Os resultados apresentados pelo compósito PVC/5CG, em comparação ao compósito PVC/5CP, indicaram uma atuação precária da carga como elemento para isolamento térmico. Este comportamento pode ser atribuído a heterogeneidade da carga ao longo da matriz, dificultando a dispersão da suberina na matriz, elemento constituinte da cortiça que confere maior estabilidade térmica a carga.

Para os compósitos de PVC/10CG é possível observar que o aumento do teor de cortiça granulada provoca redução no tempo de propagação da chama na primeira e segunda aplicações, se comparando com os compósitos de 5% de cortiça granulada. Frente ao compósito PVC/10CP, com diferente granulometria, os resultados foram semelhantes.

Fernandes, et al., 2011 avaliaram a resistência ao fogo de compósitos de PP/cortiça e PE/cortiça e verificaram que os compósitos apresentaram um melhor comportamento de resistência a chama, permanecendo íntegros durante o teste. O pó de cortiça atuou como um retardador de fogo melhorando o desempenho dos compósitos.

A cortiça no momento da queima libera cerca de 0,1 a 0,6% de monóxido de carbono e 0,1 a 2,3% dióxido de carbono, respectivamente. Valores consideravelmente baixos levando em consideração a incidência de gases tóxicos liberados pela matriz pura (Pausas, 1997; Silva, & Catry, 2006).

Diante desses resultados é possível observar que todos os compósitos apresentaram tempo de manutenção de chama inferior ao das amostras a base de PVC puro, confirmando que a cortiça apresenta potencial de aplicação em sistemas com demanda de retardância a chama.

3.4 ENSAIO MECÂNICO DE TRAÇÃO

O efeito da adição de cortiça nas propriedades mecânicas de tração dos compósitos está apresentado na Tabela 2.6 em termos de módulo de elasticidade (MPa), tensão de escoamento (MPa) e tensão de ruptura (MPa). Todos os resultados são expressos com médias \pm desvio padrão.

Tabela 2.6 – Propriedades mecânicas do PVC puro e seus respectivos compósitos.

Amostras	Tensão de Ruptura (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)	Tensão de Escoamento (MPa)
PVC	12,24 \pm 1,40	46,46 \pm 3,97	0,33 \pm 0,10
PVC/5CP	5,44 \pm 0,57	54,50 \pm 2,45	0,48 \pm 0,08
PVC/5CG	4,96 \pm 0,18	41,48 \pm 1,54	0,38 \pm 0,04
PVC/10CP	4,60 \pm 0,66	47,98 \pm 5,80	0,43 \pm 0,10
PVC/10CG	3,23 \pm 0,34	34,43 \pm 3,37	0,40 \pm 0,00

Fonte: Arquivo pessoal (2016)

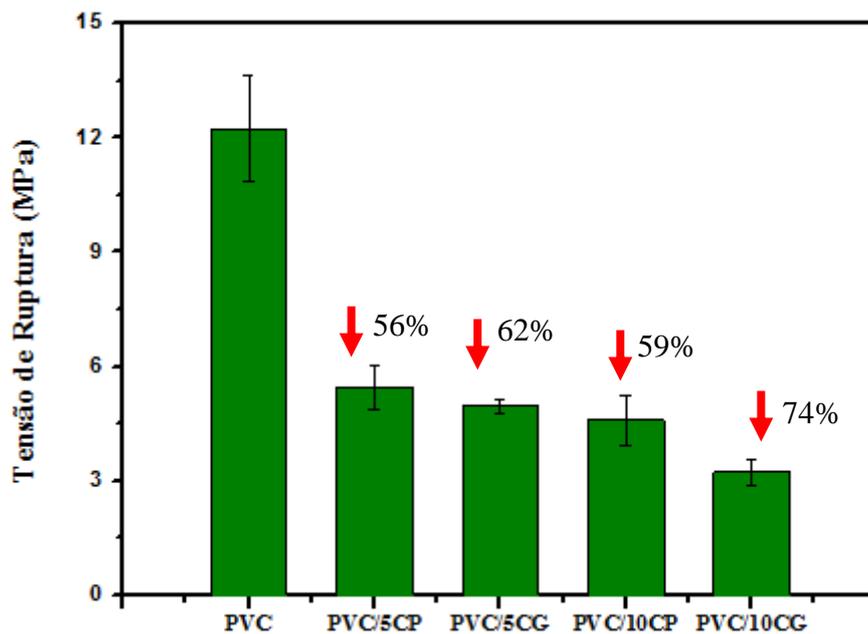
De uma maneira geral, observa-se que a tensão de ruptura e o módulo de elasticidade foram progressivamente reduzidos com o aumento do teor de cortiça, com exceção do módulo de elasticidade dos compósitos PVC/5CP, considerando os desvios experimentais. De acordo com a Tabela 2.6, a tensão de ruptura dos compósitos, em comparação com o PVC puro, reduziu respectivamente 56%, 62%, 59% e 74% para as amostras de PVC/5CP, PVC/10CP, PVC/5CG e PVC/10CG.

De acordo com a literatura, os carregamentos aplicados nos materiais compostos são transferidos da matriz as cargas ao longo do contato reforço/matriz, fazendo com que compósitos que têm boa adesão entre seus constituintes apresentem melhores propriedades

mecânicas (Essabir, *et al.*, 2016). No caso das amostras em estudo não houve uma adesão eficiente, a diminuição da tensão de ruptura foi atribuída parcialmente a incompatibilidade entre partículas de cortiça e a matriz de PVC, e à medida que a tensão é aplicada ao material compósito, a falta de adesão limitará o processo de transferência de esforços, resultando assim em queda na resistência mecânica. Além disso, as propriedades mecânicas de tração da cortiça são inferiores a matriz de PVC, contribuindo para a diminuição da tensão de ruptura (Fernandes, *et al.* 2014).

Na Figura 2.9 são apresentados os resultados da Tensão de Ruptura dos compósitos.

Figura 2.9 – Resultado da Tensão de Ruptura do PVC e respectivos compósitos.



Fonte: Arquivo pessoal (2016)

De acordo com Boulahia, *et al.*, (2016), a ausência de agente de acoplamento nos compósitos compromete a dispersão e a adesão da cortiça na matriz polimérica, bem como a qualidade dos corpos de provas que acabam por apresentar elevada porosidade interna, como observado por microscopia óptica e eletrônica, fazendo com que estes elementos atuem como

concentradores de tensão, reduzindo as propriedades mecânicas e favorecendo à fratura precoce dos compósitos.

Em estudos anteriores realizados por Fernandes, *et al.* 2013, foi observado que a resistência a tração de compósitos de cortiça/polímeros é dependente de três parâmetros: o tipo da matriz, a compatibilidade entre a matriz polimérica e a cortiça e o teor de cortiça, enquanto que o módulo de elasticidade é influenciado pelo teor de cortiça e as condições de processamento.

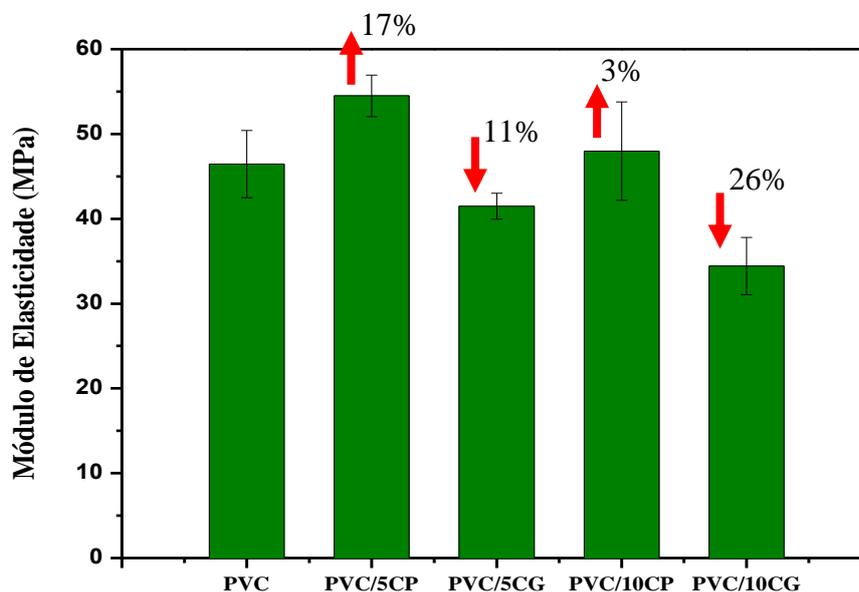
Boulahia, *et al.*, (2016) investigaram as propriedades mecânicas de compósitos de PVC e cortiça em pó reciclável com agente de acoplamento e observaram o aumento da rigidez do material proporcional ao aumento da quantidade de carga.

Devido à baixa de adesão e as condições de processamento todos os compósitos apresentaram a tensão de ruptura inferior ao PVC puro.

Segundo um boletim técnico da Braskem (2015), produtos moldados em PVC flexível (e outros compósitos) utilizados para revestimento devem resistir sem se romper ou rasgar, com uma tensão mínima de 10 MPa. Em vista disso, técnicas de misturas de PVC com cortiça precisam ser melhoradas para que possam ser utilizadas em futuras aplicações em revestimento de cabos.

Na Figura 2.10 são apresentados os resultados do Módulo de Elasticidade do PVC puro e compósitos.

Figura 2.10 - Resultado do Módulo de Elasticidade do PVC puro e respectivos compósitos.



Fonte: Arquivo pessoal (2016)

De acordo com a Figura 2.10, é possível observar o aumento de 17% do módulo de elasticidade para o compósito PVC/5CP e uma discreta tendência de aumento para PVC/10CP, aproximadamente 3% de incremento. Com a cortiça em maior granulometria foi possível constatar uma redução do módulo de elasticidade dos compósitos, chegando a níveis de 11% para o compósito PVC/5CG e de 26% para o compósito contendo o maior teor de carga granulada. Além da porosidade e limitações de dispersão e distribuição de carga, outro aspecto importante relativo ao processo de produção desses compósitos é a umidade. Em estudos feitos por Yamaji, & Bonduelle (2004), a produção dos compósitos sem uma pré-secagem da madeira limitou a produção de formulações com um conteúdo máximo de 40% de madeira. Outro problema acarretado pelo alto teor de umidade é o volume de gases

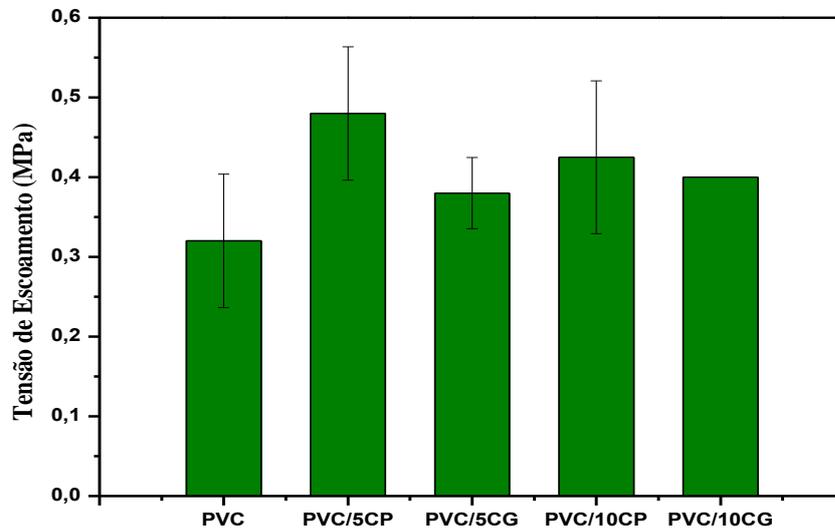
produzidos no interior da extrusora, que dependendo da quantidade ao serem eliminados na matriz, causam o rompimento do extrudado indicando fragilidade do material.

De acordo com Yamaji, & Bonduelle (2004), a umidade afeta substancialmente as propriedades do compósito de matriz polimérica-madeira. As moléculas de água atuam como plastificante influenciando as fibras, matriz e a interface simultaneamente e prejudicando a integridade mecânica do compósito. As fibras de celulose são difíceis de serem dissolvidas por causa da alta cristalinidade, mas tendem a reter líquidos nos espaços interfibrilares. Altas temperaturas podem resultar na liberação de voláteis, descoloração, odor e fragilização do componente da madeira.

A tensão de escoamento em compósitos geralmente é reduzida quando cargas mais rígidas são utilizadas como reforço na matriz polimérica (Boulahia, *et al.* 2016). Os resultados apontaram que a tensão de escoamento dos compósitos em relação ao PVC puro não sofreu grandes alterações e quando levado em consideração o desvio padrão apresentaram resultados aproximados. Este comportamento pode ser atribuído à pouca quantidade de cortiça em proporções de 5% e 10% em peso presente nos compósitos e a falta de compatibilidade.

Na Figura 2.11 são apresentados os resultados da Tensão de Escoamento para o PVC puro e respectivos compósitos.

Figura 2.11 – Resultado da Tensão de Escoamento do PVC e respectivos compósitos.



Fonte: Arquivo pessoal (2016)

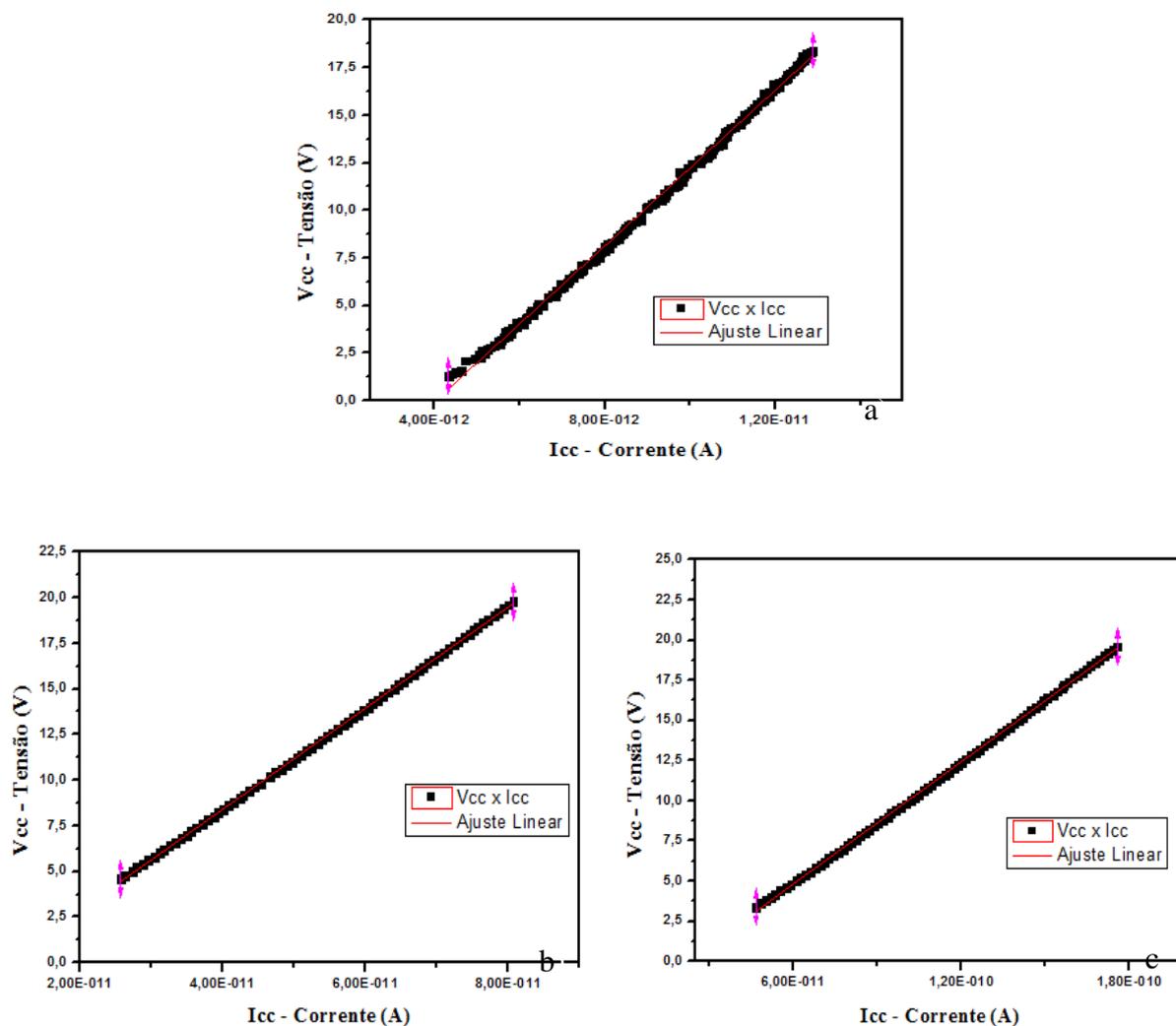
Correa, *et al.*, (2004) afirmam que a necessidade do uso aditivos compatibilizantes na incorporação de fibras naturais em termoplásticos, baseia - se no caráter polar da celulose que requer a compatibilização do sistema por meio da incorporação dos chamados agentes de acoplamento ou de adesão interfacial.

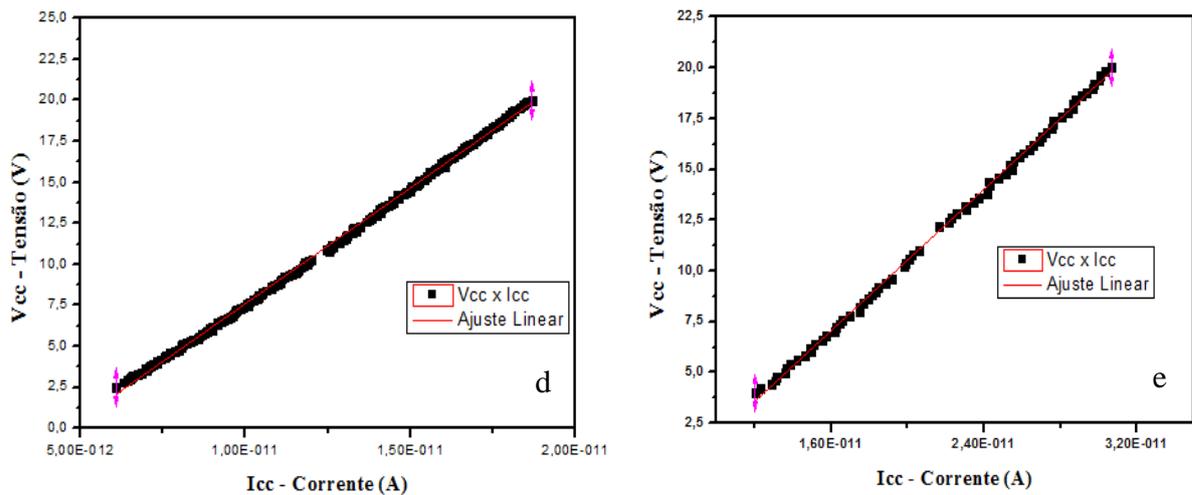
Vianna, *et al.*, (2004) verificaram que partículas finas de madeira podem ser utilizadas eficientemente na substituição de cargas minerais e fibras de vidro, exibindo propriedades mecânicas adequadas para muitas aplicações da engenharia. Porém, um dos principais problemas na fabricação de compósitos polímero/madeira é a adesão da fibra com a matriz polimérica. A afinidade química entre a celulose e a matriz polimérica pode ser melhorada modificando a superfície da fibra ou o polímero, com o uso de vários elementos aditivos, como, por exemplo, o anidrido maleico (Maldas, & Kokta, 1990; Lyons, & Mallik, 2005).

3.5 CARACTERIZAÇÃO ELÉTRICA – RESISTIVIDADE ELÉTRICA VOLUMÉTRICA

Os resultados referentes ao comportamento das amostras frente a aplicação de tensão e corrente contínuas são apresentados na Figura 2.12.

Figura 2.12 - Comportamento da corrente em relação à voltagem aplicada no PVC puro (a), PVC/5CP (b), PVC/10CP (c), PVC/5CG (d) e PVC/10CG (e).





Fonte: Arquivo pessoal (2016)

De acordo com os dados da Figura 2.12 foi possível encontrar o valor da resistência elétrica de cada amostra e em seguida a REV do material. Na Tabela 2.7 são apresentados os valores da resistividade de todos os compósitos. Como parâmetro de comparação, filmes de PVC puro também foram avaliados.

Tabela 2.7 – Dados da resistência, espessura, área e resistividade dos filmes de PVC puro e compósitos de PVC/cortiça.

Amostras	R (Resistência)	L (Espessura)	Ae (Área)	ρ (Resistividade)
PVC puro	$2,045 \times 10^{12} \Omega$	0,070 cm	1,20 cm ²	$3,506 \times 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$
PVC/5CP	$2,772 \times 10^{11} \Omega$	0,050 cm	1,18 cm ²	$6,557 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$
PVC/10CP	$1,268 \times 10^{11} \Omega$	0,046 cm	1,32 cm ²	$3,639 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$
PVC/5CG	$1,412 \times 10^{12} \Omega$	0,066 cm	1,21 cm ²	$2,589 \times 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$
PVC/10CG	$8,707 \times 10^{11} \Omega$	0,063 cm	1,32 cm ²	$1,824 \times 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$

Fonte: Arquivo pessoal (2016)

De acordo com Araújo, & Pires, (2013) a resistividade do PVC puro é da ordem de 10^{13} Ω .cm, valor este que corrobora com o encontrado na pesquisa.

Para os compósitos de PVC e cortiça em pó os valores da REV apresentaram reduções em sua ordem de grandeza para (10^{12}) em comparação com o PVC puro, apresentando uma tendência de aumentar a condutividade a medida que é elevado o teor de cortiça.

Para compósitos a base de cortiça granulada, os resultados mostraram que a REV também foi reduzida em maior intensidade, sendo este comportamento atribuído a presença de umidade na carga. Marat-Mendes, & Neagu, (2003) realizaram um estudo da resistividade elétrica da cortiça e observaram que a mesma contém mais de 3,5% de água absorvida, sendo essa quantidade suficiente para produzir modificações significativas das propriedades elétricas. A resistividade da cortiça natural parcialmente seca foi investigada e os resultados obtidos indicaram uma resistividade da cortiça, a temperatura 25°C , no valor de $8,33 \times 10^{11}$ Ω .cm e a resistividade intrínseca da cortiça de $5,98 \times 10^{14}$ Ω .cm a 50°C , valor este maior do que a resistividade do PVC. O resultado revelou que a presença de umidade absorvida pela cortiça durante o processamento influencia nos resultados, diminuindo as medidas de resistividade do material compósito.

Poucos estudos são encontrados sobre as propriedades elétricas da cortiça natural e seus derivados na literatura científica. De acordo com Gil (2009), a cortiça é um bom isolador elétrico e a redução da sua resistividade elétrica volumétrica está diretamente relacionada com o teor de água no material. Estas propriedades não foram encontradas apenas na cortiça natural, mas também nos derivados de cortiça, tais como aglomerados de cortiça e compósitos de cortiça. A fim de tornar um material menos condutor, a presença de umidade na cortiça deve ser reduzida através de um processo de secagem (Lanca, *et al.*, 2008).

Araújo, & Pires (2013), investigaram as propriedades elétricas de compósitos de PVC/Nanotubos de carbono e observaram que as amostras com teores de nanotubos funcionalizados superiores a 0,4% apresentaram resistividade volumétrica ligeiramente inferior, indicando que mesmo em pequenos teores os nanotubos de carbono reduzem a resistividade elétrica em do compósito.

Desta forma, acredita-se que os resultados obtidos podem ser atribuídos ao baixo percentual de carga, a presença de umidade na cortiça natural, mas principalmente a absorvida após o processamento e que o processo de secagem pós - extrusão deve ser intensificado para que, desta forma, a aplicação em cabos elétricos seja viabilizada.

4. CONCLUSÃO

Neste estudo foram desenvolvidos compósitos PVC/Cortiça em Pó e PVC/Cortiça Granulada para avaliação da morfologia, comportamentos térmico, mecânico e elétrico e de acordo com os resultados pode-se observar que o aumento do teor de cortiça promoveu a formação de um maior número de aglomerados, presença de poros e bolhas. Termicamente os compósitos não apresentaram diferenças significativas entre os três estágios de degradação com relação ao PVC puro e que a granulometria da carga não alterou significativamente o processo de degradação.

Para o ensaio de inflamabilidade todas as amostras atenderam aos requisitos da norma UL 94 - V, com classificação V- 0, tendo os compósitos apresentado um tempo de extinção de chama menor, em especial na presença de 10% de cortiça.

Mecanicamente, a presença da cortiça interferiu no desempenho dos compósitos: o módulo de elasticidade aumentou para o compósito com 5% cortiça em pó quando comparados com o PVC puro, enquanto os demais tiveram comportamento semelhante ou inferior à matriz. A tensão de ruptura, que está intimamente relacionado com a qualidade da adesão e a boa dispersão da cortiça, foi inferior para todos os compósitos em relação a matriz polimérica.

A medida da resistividade elétrica volumétrica dos compósitos indicou a uma redução desta propriedade com a presença da cortiça especialmente quando incorporada na forma granulada, sendo atribuída a presença de umidade da cortiça.

Em geral as propriedades analisadas apresentaram influência do tipo de carga e apontaram a necessidade de aplicação de agente de acoplamento e variações de condições de processamento de forma que as potencialidades dos compósitos preparados possam ser ampliadas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Society for Testing Materials. (2014). ASTM D638: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. ASTM Standards

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2011). NBR 5403: Materiais isolantes elétricos sólidos – Determinação da resistividade volumétrica e superficial.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1980). NBR 5407: Determinação da resistência de isolamento de materiais isolantes sólidos.

Araújo, R. G., & Pires, A. T. (2013). Nanocompósitos PVC/Nanotubos de Carbono: Avaliação da Resistividade Elétrica e Efeito do Solvente Utilizado na Obtenção dos Nanocompósitos nas Propriedades Térmicas. *Polímeros*, 23(6), 839-843.

Averous, L., & Boquillon, N. (2004). Biocomposites based on plasticized starch: thermal and mechanical behaviours. *Carbohydrate Polymers*, 56(2), 111-122.

Becker, D., Kleinschmidt, A. C., & Balzer, P. S. (2014). Banana fibers and rigid PVC composites: effect of fiber treatment. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 19(3), 257-265.

Bledzki, A. K., S. Reihmane, J. Gassan. (1998). Thermoplastics reinforced with wood fillers: a literature review. *Polym.-Plast. Technol. Eng.* 37.4, 451-468.

Boulahia, H., Zerizer, A., Touati, Z., & Sesbou, A. (2016). Recycling the Cork Powder in a PVC-Based Composite Material: Combined Effect on Physico-Mechanical and Thermal Properties. *International Polymer Processing*, 31(3), 346-355.

Braskem (2015). Perfil (2015). Disponível em: <
http://www.braskem.com.br/Portal/Principal/Arquivos/html/boletm_tecnico/Tabela_de_Propriedades_de_Referencia_dos_Compostos_de_PVC.pdf > Acesso em: 10 jan. 2017

Camões, A., Cardoso, C. J. L., Cunha, S. R. L., Vasconcelos, G., Medeiros, P., Eires, R., Lourenço, P. B. (2012). Caracterização de materiais compósitos à base de gesso FGD. *Mecânica experimental*, (20), 79-88.

Carvalhais, J. C. M. (2013). Estudo do comportamento de absorção de resinas de PVC com diferentes plastificantes.

Correa, C. A., Fonseca, C. N., Neves, S., Razzino, C. A., & Hage Junior, E. (2004). Compósitos termoplásticos com madeira. *Polímeros*, 13(3), p. 154-165.

De Castro, A. T. P. (2008). Viabilização do reaproveitamento dos “Blister” de PVC/Al e estudos das propriedades do PVC após processamento por radiação ionizante.

Del Carpio, D. C. F. (2009). Degradação físico-química do pvc causada por derivados de petróleo.

Doolittle, A. K. (1954). The technology of solvents and plasticizers.

Dema, U. (2006). Nanocompósitos de poli(cloreto de vinila) (PVC)/argilas organofílicas. *Polímeros: Ciência e tecnologia*, 16(4), 257-262.

Eires, R., Jalali, S., Camões, A. (2010). Novos compósitos eco eficientes para aplicações não estruturais na construção. *Revista Internacional Construlink*, 8(23), 45-55.

Essabir, H., Boujmal, R., Bensalah, M. O., Rodrigue, D., Bouhfid, R., & el kacem Qaiss, A. (2016). Mechanical and thermal properties of hybrid composites: Oil-palm fiber/clay reinforced high density polyethylene. *Mechanics of Materials*, 98, 36-43.

Fernandes, E. M., Correlo, V. M., Chagas, J. A., Mano, J. F., Reis, R. L. (2010). Cork based composites using polyolefin's as matrix: morphology and mechanical performance. *Composites Science and Technology*, 70(16), 2310-2318.

Fernandes, E. M., Correlo, V. M., Chagas, J. A., Mano, J. F., & Reis, R. L. (2011). Properties of new cork–polymer composites: advantages and drawbacks as compared with commercially available fibreboard materials. *Composite structures*, 93(12), 3120-3129.

Fernandes, E. M., Mano, J. F., & Reis, R. L. (2013). Hybrid cork–polymer composites containing sisal fibre: morphology, effect of the fibre treatment on the mechanical properties and tensile failure prediction. *Composite Structures*, 105, 153-162.

Fernandes, E. M., Correlo, V. M., Mano, J. F., Reis, R. L. (2013). Novel cork–polymer composites reinforced with short natural coconut fibres: effect of fibre loading and coupling agent addition. *Composites Science and Technology*, 78, 56-62.

Fernandes, E. M., Correlo, V. M., Mano, J. F., Reis, R. L. (2014). Polypropylene-based cork–polymer composites: processing parameters and properties. *Composites Part B: Engineering*, 66, 210-223.

Gil, L. (2007). A cortiça como material de construção – Manual Técnico. Lisboa: APCOR.

Jakubowicz, I. (2003). Evaluation of degradability of biodegradable polyethylene (PE). *Polymer Degradation and Stability*, 80(1), 39-43.

Gil, L. (2009). Cork composites: a review. *Materials*, 2(3), 776-789.

Jordan, K. J., Suib, S. L., Koberstein, J. T. (2001). Determination of the degradation mechanism from the kinetic parameters of dehydrochlorinated poly (vinyl chloride) decomposition. *The Journal of Physical Chemistry B*, 105(16), 3174-3181.

Lacerda, R. A. (2009). Modelagem matemática de processo de produção de PVC por polimerização em suspensão em reatores batelada – *São Paulo*, 100p.

Lanca, M. C., Brandt, M., Neagu, E. R., Silva, P. C., Gil, L., & Marat-Mendes, J. N. (2008, September). Charge transport and storage in cork/TetraPak® composites: The influence of powder drying before composite manufacture. *In Electrets, 2008. ISE-13. 13th International Symposium on* (pp. C215-C215). IEEE.

Lyons, J. S., & Ahmed, M. R. (2005). Factors affecting the bond between polymer composites and wood. *Journal of Reinforced Plastics and composites*, 24(4), 405-412.

Lu, R. (2014). Cork in the sector of construction.

Maldas, D., & Kokta, B. V. (1990). Influence of polar monomers on the performance of wood fiber reinforced polystyrene composites. I. *Evaluation of critical conditions. International Journal of Polymeric Materials*, 14(3-4), 165-189.

Marat-Mendes, J. N., & Neagu, E. R. (2003). The study of electrical conductivity of cork. *Ferroelectrics*, 294(1), 123-131.

Marinelli, A. L., Monteiro, M. R., Ambrósio, J. D., Branciforti, M. C., Kobayashi, M., & Nobre, A. D. (2008). Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: uma contribuição para a sustentabilidade amazônica. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 18(2), 92-99.

Martins, P. A. (2013). Uso de aditivos não tóxicos como retardantes de chama em ABS.

Pandey, J. K., Ahn, S. H., Lee, C. S., Mohanty, A. K., Misra, M. (2010). Recent advances in the application of natural fiber based composites. *Macromolecular Materials and Engineering*, 295(11), 975-989.

- Pausas, J. G. (1997). Resprouting of *Quercus suber* in NE Spain after fire. *Journal of Vegetation Science*, 8(5), 703-706.
- Pavlidou, S., Papaspyrides, C. D. (2008). A review on polymer-layered silicate nanocomposites. *Progress in polymer science*, 33(12), 1119-1198.
- Pereira, H. (1992). The thermochemical degradation of cork. *Wood Science and Technology*, 26(4), 259-269.
- Pereira, H., Tomé, M. (2004). Cork oak. *Encyclopedia of forest sciences*. Elsevier, Oxford, 613-620.
- Perottoni Jr, A. (2007). Correspondência particular ao autor, baseada em números da consultoria Chemical Market Associates.
- Pita, V. J. R. R., Monteiro, E. E. (1996). Estudos térmicos de misturas PVC/plastificantes: caracterização por DSC e TG. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, 6(1), 50-56.
- Rodolfo Jr, A., Nunes, L. R., Ormanji, W. (2006). Tecnologia do PVC. *Proeditores/Braskem, São Paulo*.
- Rodolfo Jr, A., Mei, L. H. I. (2007). Mechanisms of PVC thermal degradation and stabilization. *Polímeros*, 17(3), 263-275.
- Rosa, M. E., Fortes, M. A. (1988). Thermogravimetric analysis of cork. *Journal of materials science letters*, 7(10), 1064-1065.
- Ribeiro, S. R. (2009). Compositos de PVC com refugos de release liners.
- Titow, W. V. (1984). PVC Technology. London and New York: Elsevier Applied Science Publishers. 4ª ed., 1126p.

Sargianis, J., Kim, H. I., Suhr, J. (2012). Natural cork agglomerate employed as an environmentally friendly solution for quiet sandwich composites. *Scientific reports*, 2.

Silva, J. S., Catry, F. (2006). Forest fires in cork oak (*Quercus suber* L.) stands in Portugal. *International Journal of Environmental Studies*, 63(3), 235-257.

Underwrites Laboratories. (2016). UL 94: Standard for Tests for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances.

Vianna, W. L., Correa, C. A., & Razzino, C. A. (2004). Efeitos do tipo de poliestireno de alto impacto nas propriedades de compósitos termoplásticos com farinha de resíduo de madeira. *Polímeros*, 14(5), 339-348.

Weil, E. D., Levchik, S., & Moy, P. (2006). Flame and smoke retardants in vinyl chloride polymers—commercial usage and current developments. *Journal of fire sciences*, 24(3), 211-236.

Yamaji, F. M., & Bonduelle, A. (2004). Utilização da serragem na produção de compósitos plástico-madeira. *Floresta*, 34(1), p. 59-66.

Yang, C.G.; Zeng, H. M.; Li, J.J. (1995). *Fibre Reinforced Plastics/ Compos.*, 6, p.22.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de compósitos de PVC e cortiça é uma proposta relativamente recente que apresenta potencial de aplicação nos mais diversos segmentos. Entretanto, muitos aspectos relacionados ao total domínio dessa área do conhecimento ainda precisam ser elucidados, principalmente os relacionados ao aprimoramento das propriedades desejadas para uma determinada finalidade.

Estas características demandam a análise de variáveis relevantes na preparação de materiais compósitos, tais como a quantidade e granulometria da cortiça, técnicas de modificação química, tipo de compatibilizante e técnica de processamento. Esses fatores influenciam fortemente nas propriedades finais do material.

Diante do exposto, apesar das propriedades mecânicas e elétricas não terem sido satisfatórias, para os compósitos analisados, esses materiais podem representar um grande avanço como produtos para aplicação em revestimento de cabos e fios elétricos de baixa tensão, entretanto investigações frente ao processamento e suas propriedades para este fim devem ser continuamente realizadas.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tendo em vista os resultados obtidos nesta pesquisa, algumas perspectivas para trabalhos futuros são abordadas abaixo:

- Processar os compósitos com diferentes proporções em extrusora dupla rosca corrotacional;
- Realizar a adição de agentes de acoplamento, a fim de melhorar a adesão entre os compósitos;
- Realizar o tratamento superficial da cortiça por plasma, a fim de melhorar a adesão entre os compósitos;
- Realizar o teste de absorção de água para a matriz polimérica e seus compósitos;
- Realizar a avaliação sob flexão, visto que pretende-se aplicar os compósitos como revestimento isolante de fios e cabos;
- Realizar o teste de propriedades elétricas aplicando uma tensão alternada constante variando a frequência, para avaliar o comportamento da impedância real e imaginária dos sistemas;
- Avaliar as propriedades dielétricas do PVC e dos compósitos;