

PRODUÇÃO DE PALMILHAS A PARTIR DO REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE TECIDO DE POLIÉSTER DA INDÚSTRIA DO CALÇADO

Tábata Morgana Conti

Sandro Campos Amico

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Avenida Bento Gonçalves Agronomia, Porto Alegre, Rio Grande do Sul
tabataconti@hotmail.com, 00146425@ufrgs.br

Resumo. Este trabalho tem como objetivo desenvolver um material para palmilha de montagem pelo reaproveitamento de resíduos de tecido de poliéster gerados no processo de fabricação de calçados. A metodologia envolveu a moagem em moinho de facas dos resíduos de tecido de poliéster, elaboração das formulações, secagem, moldagem, secagem e prensagem a quente. Foram realizados testes adicionando 5%, 10%, 15% e 20% de resíduos de tecido de poliéster nas formulações. As amostras foram caracterizadas em ensaios de tração, alongamento máximo e por microscopia eletrônica de varredura. Os resultados indicam a viabilidade técnica da reutilização desses resíduos uma vez que as amostras tiveram resultados satisfatórios nos testes apresentados. No entanto, as amostras com menor quantidade de resíduo apresentaram os melhores valores de resistência. Isto pode ter ocorrido pois mostraram uma menor tendência de formação de aglomerados dos resíduos, facilitando o preparo e posterior compactação do material. Mesmo assim, todas as amostras atenderam, para estas avaliações, as especificações estabelecidas de placas para palmilhas de montagem comparadas a materiais comerciais comumente utilizados para este fim.

Palavras-chave: Reaproveitamento. Compósito. Resíduos. Poliéster. Palmilhas.

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com o meio ambiente e com o uso de recursos naturais de fontes não renováveis é um assunto que vem em constante crescimento no cotidiano da população em geral. Por este motivo crescem nas empresas os estudos e trabalhos para melhorar a gestão de resíduos e minimizar a geração dos mesmos com avanços e melhorias nos processos. Concomitantemente a isso com a desaceleração da economia as empresas precisam buscar um diferencial para se manterem ativas no mercado em que atuam. Este diferencial pode ser alcançado através de melhorias na produtividade, na qualidade de seus produtos, em pesquisas para soluções inovadoras e com uma gestão de resíduos eficiente.

A indústria de produção de calçados e componentes tem uma elevada importância no setor industrial no Brasil, segundo dados da Abicalçados em 2018 foram produzidos 944 milhões de pares (aprox. 755 Kton). Este setor movimentou 21,4 bilhões de reais em 2018. Neste mesmo ano o Rio Grande do Sul foi responsável por 20,1% da fabricação total de calçados do Brasil (ABICALÇADOS, 2019). A região Sul no estado do Rio Grande do Sul é um grande produtor da indústria do calçado responsável no ano de 2012 por 54,2% das exportações brasileiras de calçados de couro (APEX BRASIL, 2013).

Segundo o Plano Estadual de Resíduos Sólidos no ano de 2013 no Rio Grande do Sul o total de resíduos gerados pela indústria do calçado e têxtil foi de 275.942 toneladas (FEPAM, 2014). Pelos dados informados acima podemos concluir que no processo de fabricação do calçado 27% do material se torna resíduo do processo. Uma porcentagem considerada alta para refugo.

Segundo uma pesquisa realizada por Silva (2016) na região do Vale dos Sinos no Rio Grande do Sul com 19 empresas fabricantes de calçado 21% do total de resíduos destas empresas são de retalhos de tecidos. Outro estudo feito por Robinson (2016) que realizou um levantamento de dados do Sistema de Administração de Resíduos Industriais (SARI) onde participaram 92 empresas do setor calçadista da região do Vale do Paranhana, neste estudo foi levantado que 31% do total dos resíduos gerados por estas empresas são materiais têxteis.

Do ponto de vista ambiental é muito importante o reaproveitamento de resíduos com o propósito de diminuir todos os impactos negativos para o meio ambiente. Além do benefício ambiental o reaproveitamento gera lucro para a empresa, pois não terão os gastos para a disposição ou tratamento destes resíduos e no final transforma-se em um material com valor agregado, pois trata-se de um produto com marketing ambiental que volta a ser comercializado gerando novas receitas para a empresa.

Este estudo vem ao encontro do conceito de economia circular, onde os recursos deixam de ser somente explorados e descartados e passam a ser reaproveitados em um novo produto. De acordo com Iritani (2017), a economia circular prove novas oportunidades para inovação nas áreas de desenvolvimento de produto, serviços e modelos de negócios ao mesmo tempo em que contribui para a manutenção e aumento dos estoques de recursos naturais.

A parte inferior do calçado tem como objetivo dar sustentação, conforto e proteger os pés das variações do solo. Nesta parte estão as palmilhas de montagem, entressola, sola, vira e saltos, e os materiais utilizados são comumente não-tecidos, couro, papelão, borracha, injetados em PU, entre outros (SENAI, 2007).

O objetivo deste trabalho é desenvolver um material para uso como palmilha de montagem com o reaproveitamento de resíduos de tecido de poliéster que sobram do processo de fabricação de calçados.

2. METODOLOGIA

2.1. Produção das amostras

Primeiramente foi realizada a padronização de tamanho dos resíduos de tecido de poliéster recebidos (Fig. 1A). Os resíduos foram moídos em um moinho de facas de laboratório modelo Wiley do fornecedor DeLeo. A peneira utilizada foi de 0,5mm, produzindo o material apresentado na Fig. 1B.

Após a moagem, foi realizada a mistura e homogeneização dos materiais através de um agitador mecânico. As formulações avaliadas estão apresentadas na Tab. 1. Para o processamento, primeiramente foram adicionadas a água e as fibras de couro em *wet blue*, após foi acrescentado a mistura a resina de poliacetato de vinila (PVAc) e foi agitado durante 10 min. Posteriormente foi adicionado o aditivo base óleo e foi homogeneizado durante mais 10 min. Então foi adicionada a mistura os resíduos de tecido de poliéster moídos e mantido em agitação por mais 10 min.

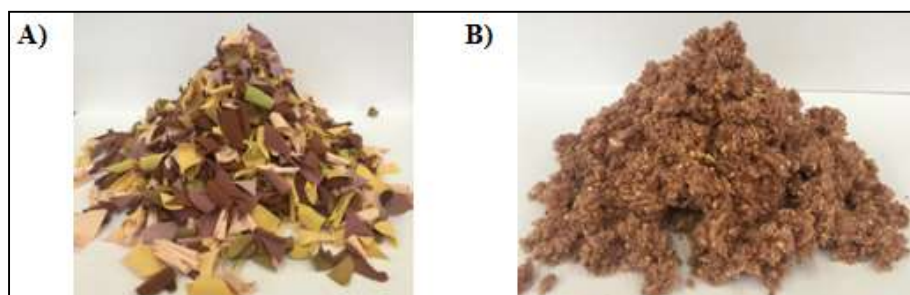


Figura 1. A) Resíduos de tecido de poliéster recebidos, e B) Resíduos após a moagem

Tabela 1. Formulações avaliadas

	PES 0% (Padrão)	PES 5%	PES 10%	PES 15%	PES 20%
Fibras de couro (g)	30	30	30	30	30
Resina PVAc (g)	18,6	18,6	18,6	18,6	18,6
Aditivo (óleo) (g)	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Resíduos de tecido PES (g)	-	1,5	3	4,5	6
Água (g)	600	600	600	600	600

Após a mistura e homogeneização dos componentes foi realizada a etapa de moldagem e esgotamento da água do material. A mistura foi colocada em um funil de Bücher para dar forma ao material e acoplado a um kitassato para a realização de uma filtração à vácuo. O material ficou com o vácuo ligado por 15 min. O material foi então removido do molde e colocado em uma estufa de 40 °C por 14 h para a secagem das placas.

Após a etapa de secagem o material passou pela *hot-press* para melhorar a compactação do mesmo. A *hot-press* foi utilizada com pressão de 700 ton/m² e temperatura de 85 °C. O material foi prensado por 15 segundos. A Fig. 2 logo abaixo mostra a *hot-press* industrial que foi utilizada na fabricação das amostras. A última etapa da fabricação dos compósitos foi a climatização e regularização da umidade do material, onde as placas do material compósito foram deixadas por 24 h a temperatura ambiente no laboratório. Na Fig. 2, o fluxograma do processamento utilizado na fabricação das amostras de placas de compósitos através de fotos de cada etapa realizada em laboratório.

2.2. Caracterização

A análise das amostras por microscopia eletrônica de varredura (MEV) foi realizada no Centro de microscopia e microanálise da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Foram feitas imagens com 100× e 1000× aumento. As amostras foram cortadas com o auxílio de um estilete, após foram metalizadas com uma fina camada de ouro. O

metalizador utilizado foi o *Sputercoater* SCD 050 da BAL-TEC ajustada para 100 segundos. Para as análises de MEV, foi utilizado o microscópio de modelo Jeol JSM-6060. O *software* utilizado foi o "*SEM Control User Interface Version 6.55*". As visualizações que serão apresentadas foram feitas na região de corte da amostra.

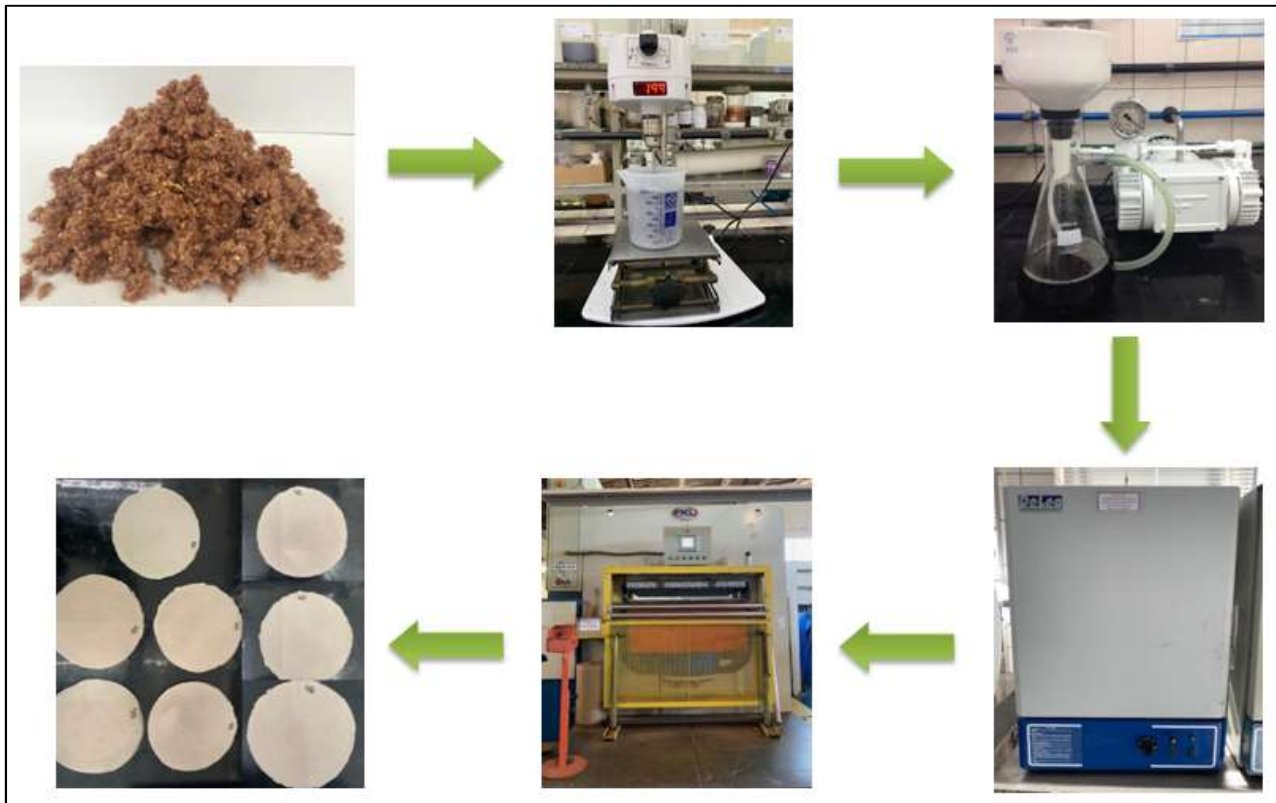


Figura 2. Fluxograma do processo de fabricação das amostras

Os ensaios de resistência à tração foram realizados com base na norma NBR 14459 (2008) - Construção inferior do calçado - Solas, solados e materiais afins - Determinação da resistência à tração e alongamento na ruptura. Esta norma é regulamentada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). O método baseia-se na determinação da força necessária para romper o material, com a ajuda de um dinamômetro. As amostras foram acondicionadas em temperatura ambiente por 24 h. Depois as amostras foram cortadas em medidas padronizadas, neste caso com uma navalha de corte padrão de 115 mm por 25 mm.

Após foram medidas a espessura do material com um paquímetro e medido a largura a partir do meio de cada corpo de prova. A amostra foi colocada no dinamômetro e verificada a medida encontrada do pico máximo de força de ruptura. O método foi realizado em triplicata. Após o resultado foi calculado pela equação abaixo e expresso em N/mm^2 .

$$T = \frac{F \cdot 9,8066}{e \cdot L_s} \quad (2)$$

onde: T = tensão máxima, em N/mm^2 ; F = força máxima de ruptura, em kgf; e = espessura do corpo de prova, em mm; L_s = largura a partir do meio do corpo de prova, em mm.

Os ensaios de alongamento máximo foram realizados baseados também na mesma norma NBR 14459 (ABNT, 2008). Foi utilizado o mesmo procedimento conforme o ensaio de tração, com o auxílio de um dinamômetro só que neste caso o aparelho mede o comprimento final da amostra no momento do rompimento da mesma. A navalha de corte utilizada foi a mesma do teste de tração, conforme já descrito acima. O método foi realizado em triplicata. Após o resultado foi calculado pela equação abaixo e expresso em percentual de alongamento máximo.

$$A \% = \left(\frac{L_f - L_o}{L_o} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

onde: A = alongamento (deformação) na ruptura, em %; L_f = comprimento final do segmento marcado, em mm; L_o = comprimento de medição ($25 \pm 2,0$ mm).

3. RESULTADOS

3.1. Análise morfológica

Na Fig. 3, são apresentadas as microscopias realizadas no MEV para cada amostra testada de material para palmilha de montagem. Pode-se observar que no geral as amostras tiveram boa compactação. Pode-se notar principalmente nas microscopias com aumento de 100 vezes que com o aumento da adição de resíduos de tecido de PES no material houve uma maior tendência de formação de aglomerados dos resíduos, conforme podem ser visualizados nas setas brancas. Esta formação de aglomerados pode ter dificultado o processo de prensagem do material.

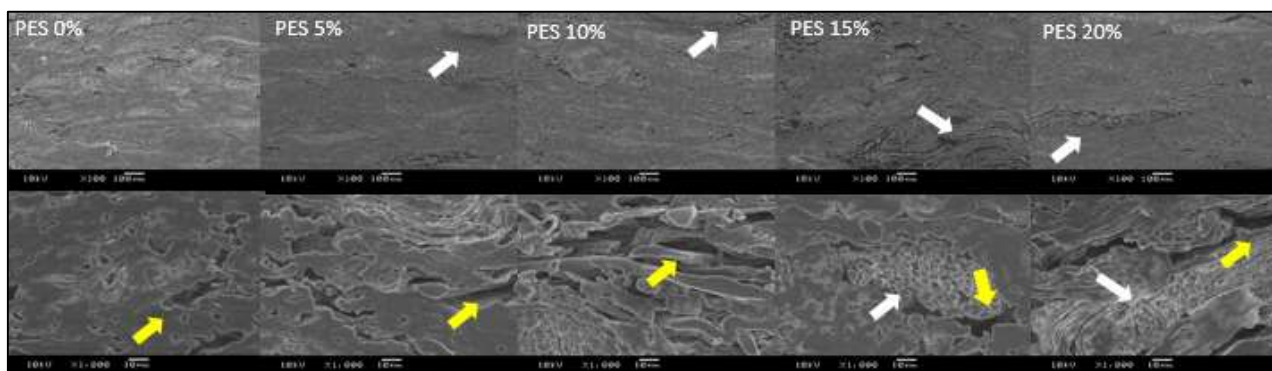


Figura 3. Microscopias do MEV das amostras

Através das microscopias do MEV com o aumento de 1000 vezes pode-se observar também que existe a presença de pontos vazios nas amostras, que estão evidenciadas nas flechas amarelas na Fig. 3. Estes vazios podem atuar como concentradores de tensão, que podem ter ocasionado a diminuição da resistência dos ensaios mecânicos, pois o vazio atua como iniciador de trinca. Os vazios e a má compactação do material podem interferir também aumentando a absorção de água do material, pois a água pode entrar com mais facilidade nos espaços vazios onde não tem fibras e nem resina.

3.2. Propriedades em tração

Conforme pode ser observado na Fig. 4 na medida em que foi sendo adicionado mais resíduo de tecido de poliéster na formulação do compósito, a resistência à tração do material foi diminuindo. O que indica que a adição dos resíduos de tecido de poliéster teve somente a ação de carga não colaborando para a resistência do material.

Com o aumento do teor de resíduos de tecido de PES houve maior tendência de formação de aglomerados, o que pode ter dificultado a moldagem e posterior compactação do material. Estes fatores podem ter ocasionado maior formação de vazios nas amostras, resultando em valores inferiores de resistência à tração comparados ao teste padrão. Estes vazios podem ter atuado como concentradores de tensão, pois o vazio tem a característica de agir como um iniciador de trinca.

Os resultados são considerados satisfatórios, pois ficaram acima do valor mínimo recomendado que é de 7 N/mm^2 para materiais de planta para palmilha de montagem. (ROBINSON, 2016).

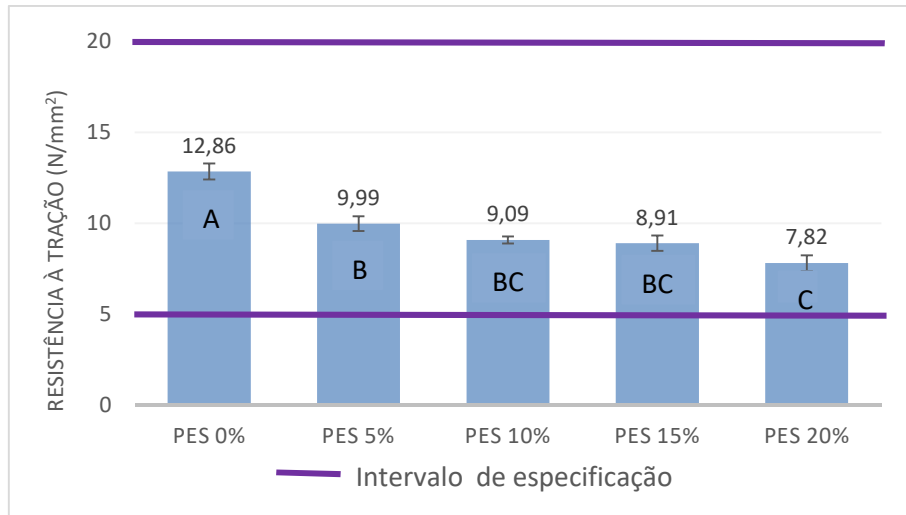


Figura 4. Resistência à tração das amostras analisadas

Conforme ferramenta estatística de análise de dados ANOVA foi encontrado o Valor-p de 0,0002 para as amostras de formulações testadas com diferentes quantidades de resíduos de tecido de PES. O que indica que as amostras tiveram resultados similares, levando em consideração 5% de significância entre os valores, PES 0%, PES 5%, PES 10%, PES 15% e PES 20%. Com relação a avaliação pelo teste de Tukey a amostra PES 0% foi considerada estatisticamente diferente das demais. As amostras PES 5%, PES 10% e PES 15% foram consideradas sem diferenças significativas entre si. E as amostras PES 10%, PES 15% e PES 20% são consideradas estatisticamente iguais, como pode ser observado na Fig. 4.

Todas as amostras testadas tiveram valores de resistência à tração dentro dos parâmetros estabelecidos baseados nos materiais já utilizados no mercado para o uso como palmilha de montagem, com resistência entre $12,5 \pm 7,5$ N/mm².

Como comparativo, Wu e Xiao (2015) encontraram um valor similar de resistência à tração para um compósito de PVAc e fibras naturais de casca de arroz e reportaram, para a melhor formulação (50:50), um valor de 8,34 Mpa de resistência à tração.

Rushanovich et al. (2016), também com a resina de PVAc e com fibras naturais de madeira de pinho, obtiveram 19 MPa de resistência à tração com 10% de fibras e 12 MPa com 50% de fibras, ou seja, uma clara tendência de diminuição da resistência com o aumento do teor de madeira.

Os resultados de alongamento máximo do material, apresentados na Fig. 5, também mostram um decréscimo à medida em que aumentou a quantidade adicionada de resíduo de tecido de poliéster na formulação. Este fator também pode estar relacionado ao fato de que quanto mais tecido de PES foi adicionado maior a tendência de formação de aglomerados, dificultando a prensagem e compactação do material. Isso também pode explicar a formação de espaços vazios que prejudicam os ensaios mecânicos.

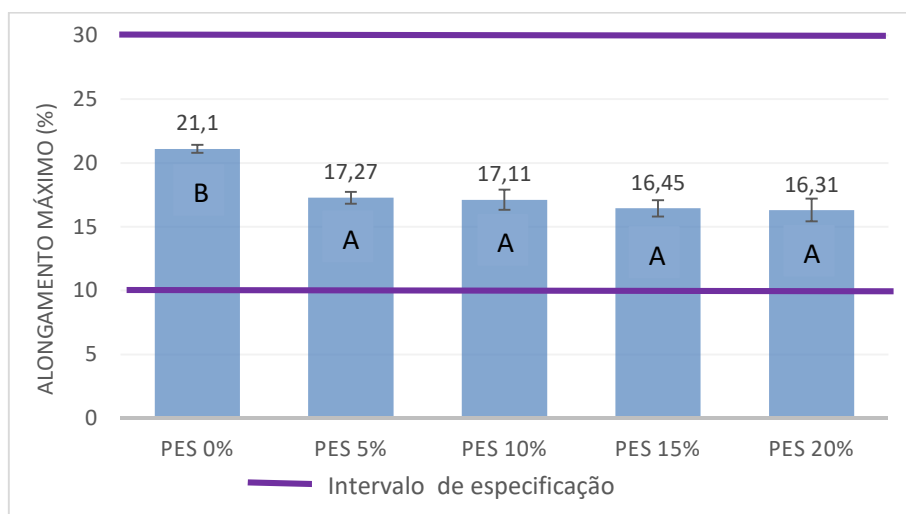


Figura 5. Alongamento máximo das amostras analisadas

O valor-p encontrado para este ensaio foi de 0,0001, portanto os resultados para o teste de alongamento indicaram similaridade conforme a ferramenta estatística ANOVA, considerando 5% de significância. Avaliando o teste de Tukey pode-se verificar que o padrão PES 0% teve diferença significativa com relação às outras amostras. As amostras PES 5%, PES 10%, PES 15% e PES 20% não possuem diferença significativa entre elas, sendo consideradas estatisticamente iguais.

Os valores do alongamento máximo foram diminuindo à medida que foi sendo adicionado mais resíduo ao material compósito como era esperado, ainda sim todos os valores encontrados para as amostras estão dentro da especificação para este ensaio que é de $20 \pm 10\%$.

Um resultado similar foi relatado por Dahlan *et al.* (2018) para um compósito de PVAc e fibras naturais de amendoeira, 60:40, com um alongamento máximo de 18,1% e uma queda com o aumento do teor de fibras no material, chegando a 3,05% com 70% de fibras naturais.

Tabela 3. Compilação dos resultados obtidos

	PES 0% Padrão	PES 5%	PES 10%	PES 15%	PES 20%	Especificação comercial
Resistência à tração (MPa)	12,86	9,99	9,09	8,91	7,82	$12,5 \pm 7,5$
Alongamento máximo (%)	21,10	17,27	17,11	16,45	16,31	20 ± 10

Assim, todas as amostras testadas estão aprovadas para uso como palmilha de montagem para calçado, a PES 5%, PES 10%, PES 15% e PES 20% conforme pode ser observado na Tab. 3. Todas atenderam os parâmetros especificados com os resultados satisfatórios para os testes de resistência à tração e alongamento máximo para este tipo de material nestas condições de fabricação no laboratório. Os parâmetros especificados para o material para uso como palmilha de montagem foram realizados com o auxílio da empresa MK Química que já atua neste mercado, e realizou um levantamento através das análises de amostras de produtos comumente utilizados para esta finalidade.

4. CONCLUSÕES

Neste estudo foi possível identificar a viabilidade da reutilização de resíduos de tecido de poliéster (PES) gerados pela indústria calçadista para o desenvolvimento de um material de planta para palmilha de montagem. Foi possível incorporar estes resíduos como insumos e ainda agregar valor ao produto gerado.

Uma amostra (PES 0%) foi produzida sem adição de PES, e os resultados encontrados para esta amostra serviram de referência para as amostras de compósitos produzidas. Todas as amostras mostraram boa compactação e homogeneidade, porém foram identificados vazios por análises de MEV em aumento de $1000\times$ nas amostras com maior teor de PES (20%). Estes vazios podem atuar como concentradores de tensão, justificando a diminuição da resistência observada nos ensaios mecânicos. Mesmo assim, nos ensaios apresentados neste trabalho, todas as amostras tiveram resultados satisfatórios, atendendo às especificações de mercado para palmilha de montagem comparado aos materiais comerciais utilizados para este fim. A inclusão dos resíduos de PES nas palmilhas não tem efeito no usuário final, pois é um material intermediário utilizado para dar estrutura, sustentação e proteger os pés das variações do solo. Depois ainda é acrescentada na fabricação dos calçados uma outra palmilha interna com estofamento.

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, conclui-se pela viabilidade técnica da reutilização e incorporação de resíduos de tecido de poliéster em um material compósito com fibras de couro e com matriz polimérica de resina de PVAc. Esta seria uma ótima opção para uma destinação ambientalmente correta destes resíduos que não ficarão mais em aterros reduzindo danos ambientais.

6. REFERÊNCIAS

- ABICALÇADOS. Relatório setorial indústria de calçados Brasil. Novo Hamburgo, RS. 2019.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas técnicas. NBR 14459 - Construção inferior do calçado - Solas, solados e materiais afins - Determinação da resistência à tração e alongamento na ruptura. Rio de Janeiro, Setembro 2008.
- APEX – AGÊNCIA DE PROMOÇÃO DE EXPORTAÇÕES DO BRASIL. Relatório de Gestão do Exercício de 2012. Brasília, DF. 2013. <<https://portal.apexbrasil.com.br/wp-content/uploads/2019/05/relatorio-de-gestao-2012-apex-brasil-v1.pdf>>.
- ASTM – American Society for Testing Materials. ASTM - D5229/D5229M - Standard Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials. In: Annual Book of ASTM Standards, 2020.
- DAHLAN, I. DOYAN, A. KOSIM. Tensile Test of Terminalia Catappa Fruit Fiber Composite Material. Journal of Applied Physics. Iosr Journals, Indonésia, 2018, volume 10, pag 63-67. DOI: 10.9790/4861-1003026367.
- FEPAM. Plano estadual de resíduos sólidos do Rio Grande do Sul 2015-2034. Porto Alegre, RS. 2014.

- IRITANI, Diego Rodrigues. Modelo de Gestão orientado a economia circular e a melhoria de desempenho ambiental do ciclo de vida dos produtos. Tese de Doutorado – Curso de Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP. 292 f. 2017.
- PINTO, C.M.L. Melhoria das Propriedades do Poliésteratravés da Funcionalização com Poli (álcool de vinilo). Dissertação de mestrado, Universidade do Minho Escola de Engenharia. 2019. Portugal.
- ROBINSON, Luiz Carlos. Desenvolvimento de material para palmilhas de montagem com resíduos têxteis. 2016. 162 f. Tese (Doutorado em Qualidade Ambiental) – Feevale, Novo Hamburgo, RS, 2016.
- RUSHANOVICH S.R. *et al.* The Study of Wood-Based Composites Based on Biodegradable Polymer. Key Engineering Materials. Trans Tech Publications, Suíça, 2016. Volume 706, pag. 78-81. DOI:10.4028/www.scientific.net/KEM.706.78.
- SENAI. Dossiê técnico Processo de fabricação do calçado. Centro tecnológico do calçado. Novo Hamburgo, RS. 2007.
- SILVA, Adriana H. Avaliação ambiental do setor calçadista sob a ótica da gestão de resíduos sólidos. 2016. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, 2016.
- WU, C. XIAO, L. A Novel Composite Based on Straw: PVAC/RSS. Advances in Computer Science Research. Atlantis Press, China, 2015. <https://doi.org/10.2991/isci-15.2015.289>.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

O(s) autor(es) é(são) o(s) único(s) responsável(is) pelas informações incluídas neste trabalho.

PRODUCTION OF SHOE INSOLE BASED ON POLYESTER FABRIC RESIDUES FROM THE SHOE INDUSTRY

Abstract. *This study has as objective to develop a material for use as shoe insole by the reuse of polyester fabric residue from footwear manufacturing. The methodology encompassed the grinding of polyester fabric residue in a knife mill, preparing of the formulations, drying, molding, drying and hot-press molding. The tests were carried out by adding 5%, 10%, 15% or 20% of polyester fabric residue in the formulation. The samples were characterized using tensile testing, and maximum elongation and scanning electron microscopy analyses. The obtained results indicate the technical feasibility of reusing those residues, since the samples showed good results in all evaluations. However, the samples with lower residue content yielded the best overall results, including strength. This must have occurred because this formulation was less prone to produce agglomerates, facilitating preparation and compaction of the material. Nevertheless, all samples met the evaluated requirements for shoe insole compared to commercial materials commonly used for this purpose.*

Keywords: *Reuse, composite, residue, polyester, insole.*

RESPONSIBILITY NOTICE

The author(s) is (are) the only responsible for the printed material included in this paper.