



**CONFORME SOLICITAÇÃO DO AUTOR, ESTA  
PRODUÇÃO INTELECTUAL POSSUI  
RESTRIÇÃO DE ACESSO**

**CAXIAS DO SUL  
2018**

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL**  
**ÁREA DE CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS**  
**E ENGENHARIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE**  
**PROCESSOS E TECNOLOGIAS**

**AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE AGENTE ANTIOXIDANTE NA**  
**RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE ETILENO-ACETATO DE VINILA**  
**(EVA) RETICULADO**

**Vanessa Biondo Rosa**

Caxias do Sul, 2020.

**Vanessa Biondo Rosa**

**AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE AGENTE ANTIOXIDANTE NA  
RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE ETILENO-ACETATO DE VINILA  
(EVA) RETICULADO**

Dissertação apresentada no Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias de Universidade de Caxias do Sul, visando a obtenção de grau de mestre em Engenharia de Processos, orientada pelo prof. Dr. Matheus Poletto e coorientada pelo prof. Dr. Ademir José Zattera.

Caxias do Sul, 2020.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Universidade de Caxias do Sul  
Sistema de Bibliotecas UCS - Processamento Técnico

R788a Rosa, Vanessa Biondo

Avaliação da utilização de agente antioxidante na reciclagem de resíduos de etileno-acetato de vinila (EVA) reticulado / Vanessa Biondo Rosa. – 2020.

91 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado) - Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias, 2020.

Orientação: Matheus Poletto.

Coorientação: Ademir José Zattera.

1. Resíduos industriais. 2. Produtos reciclados. 3. Acetato de vinila.  
I. Poletto, Matheus, orient. II. Zattera, Ademir José, coorient. III.  
Título.

CDU 2. ed.: 628.4.038

Catalogação na fonte elaborada pela(o) bibliotecária(o)  
Michele Fernanda Silveira da Silveira - CRB 10/2334

**Vanessa Biondo Rosa**

**AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE AGENTE ANTIOXIDANTE NA  
RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE ETILENO-ACETATO DE VINILA  
(EVA) RETICULADO**

Dissertação apresentada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos e Tecnologias de Universidade de Caxias do Sul, visando a obtenção de grau de mestre em Engenharia de Processos, orientada pelo prof. Dr. Matheus Poletto e coorientada pelo prof. Dr. Ademir José Zattera.

**DISSERTAÇÃO APROVADA EM**

Orientador: Dr. Matheus Poletto / Universidade de Caxias do Sul

Coorientador: Dr. Ademir José Zattera / Universidade de Caxias do Sul

Banca Examinadora:

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ruth Marlene Campomanes Santana / Universidade Federal do Rio Grande  
do Sul

Dr. Tarcisio Sanson Sene / Grendene S.A.

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Venina dos Santos / Universidade de Caxias do Sul

## RESUMO

Espumas de EVA são uma classe de materiais que combinam propriedades mecânicas com densidade reduzida, além da capacidade de absorção de energia e impacto, e por isso são amplamente aplicadas na indústria calçadista. Contudo, durante a sua fabricação e uso para confecção de calçados muitas aparas acabam tornando-se resíduo. Nesse sentido, o presente estudo tem como objetivo um processo de reciclagem, de forma a incorporar as aparas na fabricação de novas espumas. Inicialmente, os resíduos das espumas foram submetidos a um processo de extrusão duplarrosca, com a alteração de diferentes parâmetros de processamento, tais como o número de reprocessamentos, a temperatura, a velocidade de rotação e o uso de antioxidante. Nessa primeira etapa foram avaliadas as características do reciclado através dos ensaios de teor de gel, microscopia eletrônica de varredura (MEV), termogravimetria (TG) e reometria de placas paralelas e de torque. A partir disso, foram escolhidas as quatro amostras, das dezesseis extrusadas, com maior probabilidade de formar espumas homogêneas. Então seguiu-se com a confecção de espumas de EVA com e sem a incorporação do reciclado, e foram avaliados os seguintes parâmetros das espumas desenvolvidas: microscopia eletrônica de varredura (MEV), análise dinâmico mecânico (DMA) e ensaios físicos de densidade, abrasão e deformação permanente por compressão (DCP). Os resultados demonstraram uma diminuição do teor de gel reticulado em até 13 pontos percentuais para a amostra processada com antioxidante no quinto reprocessamento. Assim como as menores viscosidades para essas mesmas amostras em relação ao processamento anterior. Contudo, ocorreu uma possível reticulação residual, pois a viscosidade de todas as amostras é maior do que referência (espuma). A maior homogeneidade, observada no MEV, ocorreu nas amostras processadas por cinco repetições sem antioxidante. Esses parâmetros permitiram a escolha do reciclado para a confecção das espumas. Algumas amostras apresentaram aspectos muito semelhantes à espuma de EVA confeccionada sem reciclado. A partir do MEV pode-se perceber a espuma com reciclado extrusado uma vez, a 180°C, 450 rpm, sem antioxidante (amostra G1), como a mais uniforme e de células esféricas. Essa espuma também apresentou as melhores respostas para os ensaios de físicos de DCP e abrasão, inclusive comparada à espuma sem reciclado.

**Palavras-chave:** Etileno-acetato de vinila (EVA), espuma, reciclagem, reticulação.

## ABSTRACT

EVA foam is a class of materials that combine mechanical properties with reduced density and the ability to absorb energy and impact, which is why they are widely applied in the footwear industry. However, during its manufacture and use, many shavings scraps end up becoming waste. In this sense, the present study aims to develop a recycling process, in order to be able to incorporate the EVA waste in the manufacture of new foams. Initially, the foam waste was processed in a twin screw extruder, with the alteration of different processing parameters, such as the number of reprocessing, temperature, rotation speed and the use of antioxidants. In this first stage, the characteristics of the recycled were evaluated through the gel content tests, scanning electron microscopy (SEM), thermogravimetry (TG) and parallel and torque plate rheometry. From the sixteen samples extruded, four samples with the highest probability of forming homogeneous foams were chosen. Then, EVA foams were made with and without the incorporation of recycled material, and the following parameters of the new foams were evaluated: scanning electron microscopy (SEM), dynamic mechanical analysis (DMA) and physical density, abrasion tests and permanent compression deformation (PCD). The results demonstrated a decrease in the content of crosslinked gel by up to 13 percentage points for the sample processed with antioxidant. As well as the lower viscosities for these same samples. However, there was a possible residual crosslinking, as the viscosity of all samples is greater than the reference (foam). The greatest homogeneity, observed in the SEM, occurred in the samples processed for five repetitions without antioxidant. These parameters allowed to choose the recycled material for making new foams. Some of them presented very similar aspects to EVA foam made without recycled content. From the SEM you can see the foam with recycled extruded once, at 180 °C, 450 rpm, without antioxidant (sample G1), as the most uniform and spherical cells. This foam also showed the best responses for the physical tests of DCP and abrasion, even compared to foam without recycled content.

**Keywords:** Ethylene-vinyl acetate (EVA), foam, recycling, crosslinking.