



ALTERACIONES SUPERFICIALES EM MUESTRAS DE PEAD RECICLADO DE RESIDUOS PLASTICOS INYECTOS SOMETIDOS AL ENVEJECIMIENTO NATURAL

Eveline Raquel Pereira – eveline@sapucaia.ifsul.edu.br
IFSul - Sapucaia do Sul - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-Rio-Grandense
Av. Copacabana, 100 – B. Piratini
CEP: 93216-120 – Sapucaia do Sul – RS

Lety Del Pilar Fajardo Cabrera De Lima – pilolima@gmail.com
UFGRS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Cristiano Linck – cslinck@hotmail.com
Instituto SENAI de Inovação - Soluções Integradas em Metalmeccânica

Alessandro Luiz Alves Soares – alessandro.asoares@gmail.com
UFGRS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Ruth Marlene Campomanes Santana – ruth.santana@ufrgs.br
UFGRS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Resumo: Aunque sean necesarias varias exposiciones durante muchos años para obtener un resultado promedio de test para el envejecimiento natural de polímeros en un determinado lugar, este estudio tiene como objetivo verificar las variaciones de la calidad superficial de muestras de polietileno de alta densidad sin aditivos, provenientes del reciclaje de residuos plásticos inyectados, un residuo industrial, a lo largo de 9 meses de exposición. Al exponer las muestras a envejecimiento natural, y después comparar su desempeño en relación a las muestras no expuestas, fue posible realizar un estudio comparativo que arrojó informaciones sobre propiedades del PEAD reprocesado proveniente de residuos plásticos inyectados, además de informaciones acerca de su reciclaje y comportamiento. En el ensayo de Microscopia Electrónica de Barrido (MEB) realizado a los 6 y a los 9 meses de exposición, se verificó que defectos superficiales pre-existentes, provenientes de fallas en el proceso de inyección de los cueros de prueba, pueden favorecer la degradación oxidativa, puesto que sirven como depósito para agua de lluvia y esto facilita la degradación por stress-cracking.

Palabras-clave: Superficie, PEAD, Reciclaje, Residuos

CHANGES IN SURFACE HDPE SAMPLES OF RECYCLED PLASTIC INJECTED SLUDGES SUBMITTED TO NATURAL WEATHERING

Abstract: Although many years of repeated exposures are necessary in order to obtain an average test result for the natural aging of polymers in a certain location, this study aims to verify the variations in



surface quality high density polyethylene samples from recycling plastic sludge process, industrial waste, for 9 months of exposure. To age the samples for natural exposure and compare your performance against unexposed samples a comparative study that enables the dissemination of information on the properties of HDPE reprocessed come from injected plastic sludges, as well as information about recycling and behavior was possible. The test scanning electron microscopy (SEM) performed at 6 and 9 months of exposure, it was found that pre-existing surface defects arising from faults in the injection of the specimen process can promote oxidative degradation, therefore, serve as a deposit for rainwater, which makes the degradation by stress cracking.

Keywords: Surface, HDPE, Recycling, Sludges This document presents detailed instructions...

1. INTRODUCCIÓN

El PEAD es una polilefina con buena estabilidad química, puede decirse que es insoluble a baja temperatura, resiste la mayoría de productos químicos, a excepción de los ácidos fuertes, halógenos libres y algunas acetonas. Son insolubles en agua e hidrofóbicos. Su permeabilidad es siete veces menor que el PEBD, sin embargo, absorben lentamente hidrocarbonetos e hidrocarbonetos halogenados, presentando hinchamiento. (TORRES, 2007) (SILVA, 2012). Cuando los polímeros son expuestos a envejecimiento natural por periodos extensos pueden deteriorarse, afectándose principalmente por la radiación ultravioleta (UV) proveniente de la luz solar y por la acción del oxígeno existente en el aire. Se vuelven duros y pierden propiedades, para reducir este efecto, pueden usarse antioxidantes y absorbentes de luz ultravioleta (TORRES, 2007) (SANCHES, 2002). El procesamiento y moldeo por inyección se considera como uno de los procesos más versátiles y modernos en el área de la transformación de polímeros. La velocidad con que ocurren los avances tecnológicos en esta área son sorprendentes (MANRICH, 2005). Aun así, en las industrias de procesamiento de termoplásticos por inyección las ganancias financieras son muy estrechas y relacionadas a la productividad, por ese motivo, debe tenerse en cuenta cada centavo. Se debe procurar reducir cada pérdida, esto significa reducción en el tiempo de ciclo, reducción de tiempo de la máquina parada, estudios de setup, automatización y reciclaje, no solo de productos defectuosos y canales inyección, sino, también de residuos generados en el proceso de purga de máquinas inyectoras, , teniendo en cuenta que las industrias que realizan el reprocesamiento de polímeros, regresando a la línea de producción, generan más competitividad y productividad (PIVA & WIEBECK, 2004).

Normalmente el residuo plástico inyectado se genera cuando es necesario interrumpir el proceso por diferentes motivos, tales como para realizar el cambio de molde, mantenimiento eléctrico o mecánico, o aún por falta de demanda de operador, de materia prima o para realizar el cambio de la materia prima (PEREIRA *et al.*, 2014) (FARIA & PACHECO, 2011). Normalmente el procedimiento de purga se realiza antes de la parada y nuevamente en la partida de máquinas, es similar al proceso de inyección, sin embargo, en este proceso el material es inyectado fuera del molde, generando una masa espesa e irregular, conocida en la industria transformadora como residuo plástico o “borra de purga de proceso” (PEREIRA *et al.*, 2014) (GESSER, 2006).

La purga no genera un valor agregado al proceso, por el contrario: genera costos, consume energía, tiempo y materia prima, pero es importante, ya que garantiza una buena limpieza del conjunto de cañón y rosca plastificadora y de esta manera previene problemas de contaminación que interfieren en la calidad del producto final (PEREIRA *et al.*, 2014) (GESSER, 2006). Manuales de fabricantes de materias primas advierten que las manchas y defectos superficiales pueden ser causados por una purga ineficiente de la máquina. (INNOVA, 2014) (REVISTA DOS MOLDES DE INJEÇÃO DE PLÁSTICOS, 2014). La acumulación de carbono (proveniente de la materia prima degradada) en el conjunto tornillo \cilindro, así como en moldes y picos de inyección, tienen un alto impacto en la eficiencia del procesamiento, vida útil y mantenimiento de maquinaria. (REVISTA DOS MOLDES



DE INJEÇÃO DE PLÁSTICOS, 2014). Los compuestos utilizados en la purga, generalmente una combinación de polímeros y aditivos, utilizan un polímero como transportador de aditivos dentro de la máquina. El efecto de limpieza es una combinación entre diluir el polímero y liberación de agentes de limpieza, con el fin de eliminar la contaminación, mejorar la eficiencia, reducir el desperdicio y reducir costos de procesamiento, permitiendo una limpieza más rápida. Sin embargo, como todo proceso de purga, también se generan residuos. Otra desventaja de los compuestos de purga es que algunos de ellos son abrasivos y deterioran el conjunto rosca/cañón, de hecho los fabricantes no remiendan reciclar el residuo con compuestos de purga, informan que este reciclaje afectará propiedades físicas de las piezas, generando piezas defectuosas. (CHEM TREND, 2014)

Una investigación realizada por la empresa Emprapla, Joinville SC, que actúa en el área de inyección de piezas plásticas, fue realizada la metodología de separación de residuos y su reciclaje, para analizar el impacto económico y ambiental del reaprovechamiento de dicho residuo, los resultados arrojaron que cerca del 2 de la masa total producida eran residuos plásticos inyectados (SCALICE & GESSER, 2007).

Para que sea posible el reaprovechamiento de los residuos plásticos inyectados, es necesario que estos sean bien cuidados y condicionados, para evitar contaminaciones externas. También es necesario realizar una clasificación visual como residuo limpio, residuo sucio. Residuo quemado o contaminado (PEREIRA *et al.*, 2014) (GESSER, 2006). Desde este punto de vista, en este estudio se objetiva evaluar las alteraciones superficiales de muestras de PEAD reciclado proveniente de residuos plásticos inyectados, sometidas a intemperie natural en la ciudad de Porto Alegre, RS, en periodos de 6 y 9 meses, verificando la sustentabilidad y preservación de sus características superficiales a lo largo de 9 meses.

2. EXPERIMENTAL

2.1. Materiales y Métodos

2.1.1. Obtención de las muestras

Los materiales utilizados en esta investigación fueron residuos plásticos de PEAD provenientes del proceso de moldeo por inyección, recogidas durante clases prácticas del curso técnico en Plásticos en el IFSUL – Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia – Campus Sapucaia do Sul y la materia prima virgen que dio origen a los residuos, PEAD IA59U3 – marca Braskem.

Fracciones de resina virgen y fracciones de la trituración de residuos formaron las formulaciones utilizadas en este estudio. La trituración de los residuos proviene de tres fuentes: (1) molimiento de residuos plásticos inyectados provenientes de materia prima virgen; (2) trituración de residuos plásticos provenientes de materia prima reprocesada y (3) trituración de residuos plásticos provenientes de materia prima virgen o recuperada de residuos plásticos inyectados contaminados. En la tabla 1 se indican las composiciones y proporciones utilizadas en cada formulación.

Tabla 1. Composición y porcentaje de las formulaciones analizadas.

Grupos	Formulaciones	Porcentaje de masa (%)				
	Mezcla utilizada	A	B	C	D	E
G1	PEAD virgen	100	75	50	25	0
	Residuos de PEAD virgen molidos	0	25	50	75	100
G2	PEAD virgen	100	75	50	25	0
	Residuos de PEAD reciclado molidos	0	25	50	75	100
G3	PEAD virgen	100	75	50	25	0
	Residuos de PEAD quemados y/o contaminados - molidos	0	25	50	75	100

Fuente: Autor



Las mezclas entre materia prima virgen y residuos molidos, fueron realizadas manualmente. Con las formulaciones preparadas se dio inicio a la producción de los cuerpos de prueba en una mini inyectora Thermo Scientific Haake MiniJet II, bajo las condiciones de procesamiento indicadas en la tabla 2.

Tabla 2. Condiciones de procesamiento para obtención de los cuerpos

Materia-Prima	PEAD
Tiempo de pre-calentamiento (s)	300
Temperatura del Cilindro (°C)	180
Temperatura del Molde (°C)	60
Presión (bar)	600
Tiempo (s)	6

Fuente: Autor

2.1.2. Exposición a envejecimiento natural

Se realizaron ensayos de envejecimiento natural siguiendo la norma ASTM D 1435-13, con el objetivo de evaluar la estabilidad de las muestras cuando son expuestas a la intemperie. Fueron expuestos 15 cuerpos de prueba para cada formulación, los 5 primeros de cada grupo fueron retirados después de 3 meses de exposición, el segundo grupo de 5 cuerpos de prueba de cada formulación fueron retirados después de 6 meses de exposición, y los últimos 5 cuerpos de prueba de cada formulación fueron retirados después de 9 meses de exposición. La exposición inició el día 10 de septiembre de 2014 y finalizó el día 10 de junio de 2015, comprendiendo los periodos de fin de invierno, primavera, verano y hasta el final de otoño.

Para la realización del ensayo de exposición a envejecimiento natural, cada grupo de muestras fue identificado y fijado en un sistema compuesto por una estructura de madera y un panel, que se trata de una red de nylon con inclinación de 45° en relación al suelo, durante los 9 meses de exposición en el Campus de la UFRGS de Porto Alegre RS – Brasil, con condiciones de clima tropical húmedo (clasificación climática de Köppen-Geiger: Cfa – clima templado húmedo con verano cálido) latitud 30.05°, longitud 51.17° y altitud de 41 metros (INMET, 2015). Los datos de temperaturas máximas y mínimas, precipitación pluviométrica y radiación ultravioleta fueron registradas durante todo el periodo.

2.1.3. Ensayos Morfológicos

Para el análisis morfológico superficial, fue utilizado el microscopio electrónico de barrido (MEB) de la marca Jeol JSM 6060 con 1,5kv de voltaje, de la Universidade Federal do Rio Grande do Sul (CME/UFRGS). Las muestras utilizadas en este estudio fueron metalizadas con oro.

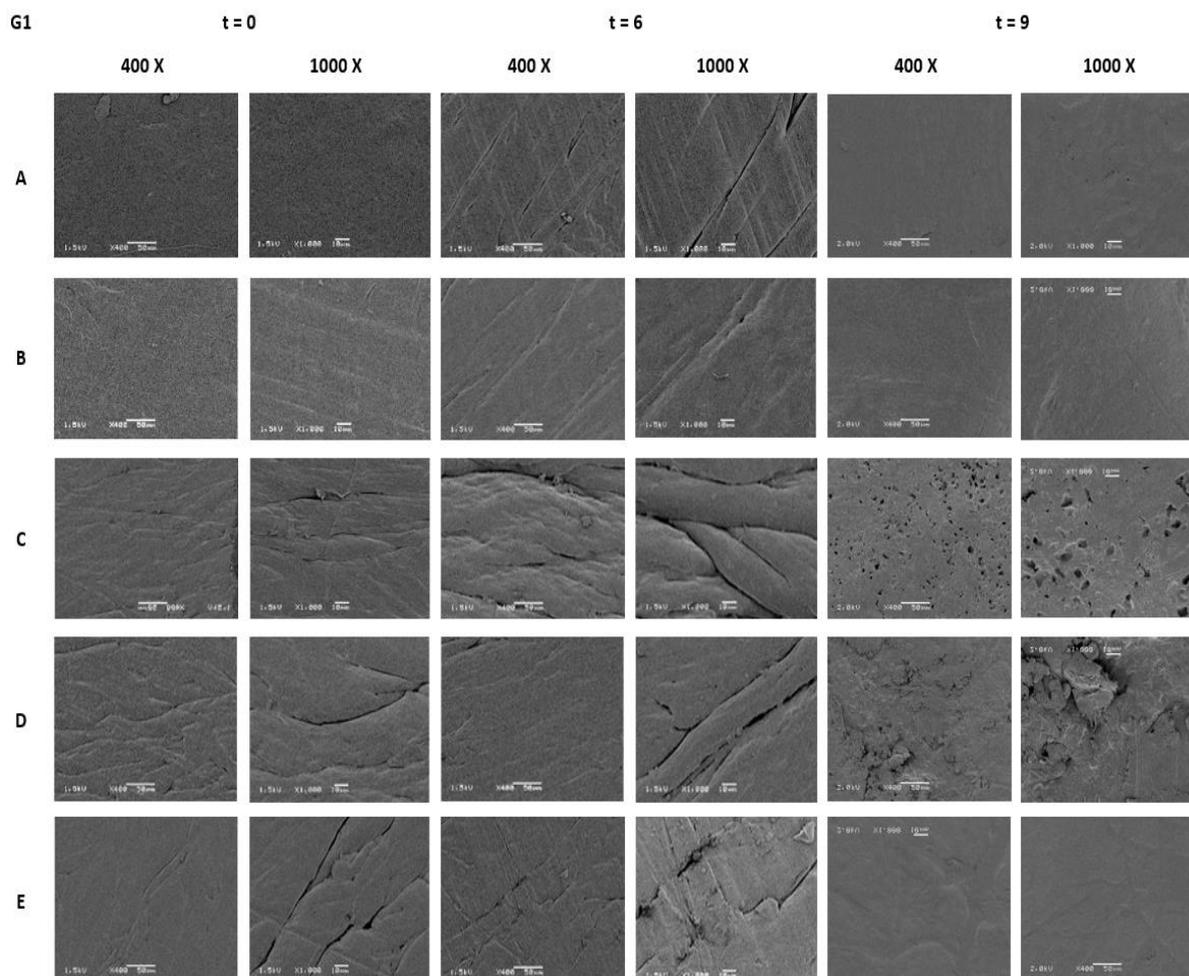
Para evaluar las alteraciones morfológicas entre las muestras de diferentes formulaciones y la influencia de la exposición al envejecimiento natural, una muestra de cada grupo, en tiempo cero ($t = 0$, no expuesta) y después de 6 y 9 meses de exposición ($t = 6$, expuesta por 6 meses; $t = 9$, expuesta por 9 meses) Fue seleccionada y analizada en microscopio electrónico de barrido (MEB) con aumentos de 400X e 1000X.

3. RESULTADOS

3.1 Evaluación de la Superficie de las Muestras por Análisis Morfológica

En la figura 1, se muestran las micrografías de la superficie, donde es posible verificar las variaciones morfológicas superficiales entre las diferentes formulaciones del grupo G1.

Figura 1. Micrografías de las muestras del grupo G1 en función de la formulación y el tiempo de Exposición

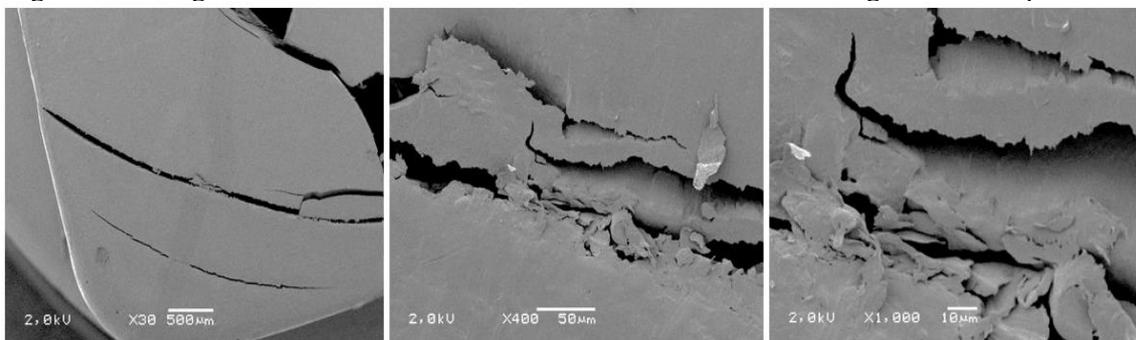


Las muestras G1A y G1B no expuestas ($t = 0$) presentan superficie poco más áspera, esto posible verificar tanto en la imagen con ampliación de 400X así como también en la imagen de 1000X. Transcurridos 6 meses de exposición, la superficie de ambas muestras presentan alteraciones superficiales que pueden ser verificadas en el aumento de 400X, sin embargo, las muestras seleccionadas al azar para análisis de alteraciones topográficas transcurridos 9 meses, no evidenciaron daños en la superficie, solo pequeña ondulación, tanto para G1A como para G1B.

Para las muestras G1D y G1E el comportamiento es parecido a las muestras citadas anteriormente, sin embargo, por poseer una mayor fracción de material recuperado, su superficie no es tan homogénea como las primeras. En la observación de la muestra del grupo G1E $t = 9$ es posible verificar, de acuerdo con la Figura 2, a fractura frágil del material provocada por el esfuerzo necesario

para preparación de la muestra (corte) para el ensayo de MEB, pero la superficie, de modo general, no presenta grietas.

Figura 2. Micrografías de muestra G1E t = 9: observación de fractura frágil en tres ampliaciones.



La muestra G1C t = 6 1000X mostro algo diferente a las demás. En la superficie hay grietas profundas, pero estas no son consecuencia de la degradación del material, puesto que, es posible observar que todos los cuerpos de prueba de este estudio fueron obtenidos en una mini-inyectora, es decir, sin tornillo plastificador que podría ayudar en la homogenización del material, y de hecho ese tipo de defectos pueden aparecer. En la observación de la muestra expuesta durante 9 meses a la intemperie, otra característica sobresaliente es la presencia de porosidades en toda la superficie.

Cuando la materia prima no es secada de forma adecuada antes del procesamiento por inyección, se forman gases (humedad) que generarán problemas a los productos moldeados, puesto que las sustancias volátiles se quedan enclaustradas en la cavidad del molde durante el ciclo de moldeo, formando un producto con porosidad y con una microestructura semejante a un expandido estructural. La distribución de la porosidad será influenciada por las condiciones mecánicas del material modificado (NALDONY, 2013). Esta es una hipótesis para el efecto observado en la muestra G1C t=9 meses.

En la figura 3, se encuentran las micrografías para las muestras del G2, donde puede ser observado el mismo estándar presentado en la Figura 1. En tiempo cero, las muestras de formulación 100%, o sea, “A” y “E”, sobre aspectos morfológicos, se mostraron más homogéneas y uniformes que las demás. La muestra “B” es más homogénea que la “D”, esto se explica por la mayor fracción de PEAD virgen (75%), por último, se observa la muestra “C”, que en el tiempo cero no es muy diferente de las demás muestras de este grupo, sin embargo, transcurridos 6 meses de exposición se observa una gran irregularidad superficial, que no se asemeja con la muestra G1C t=6 1000X comentada anteriormente, esto no puede ser justificado como una falla en la homogenización del material.

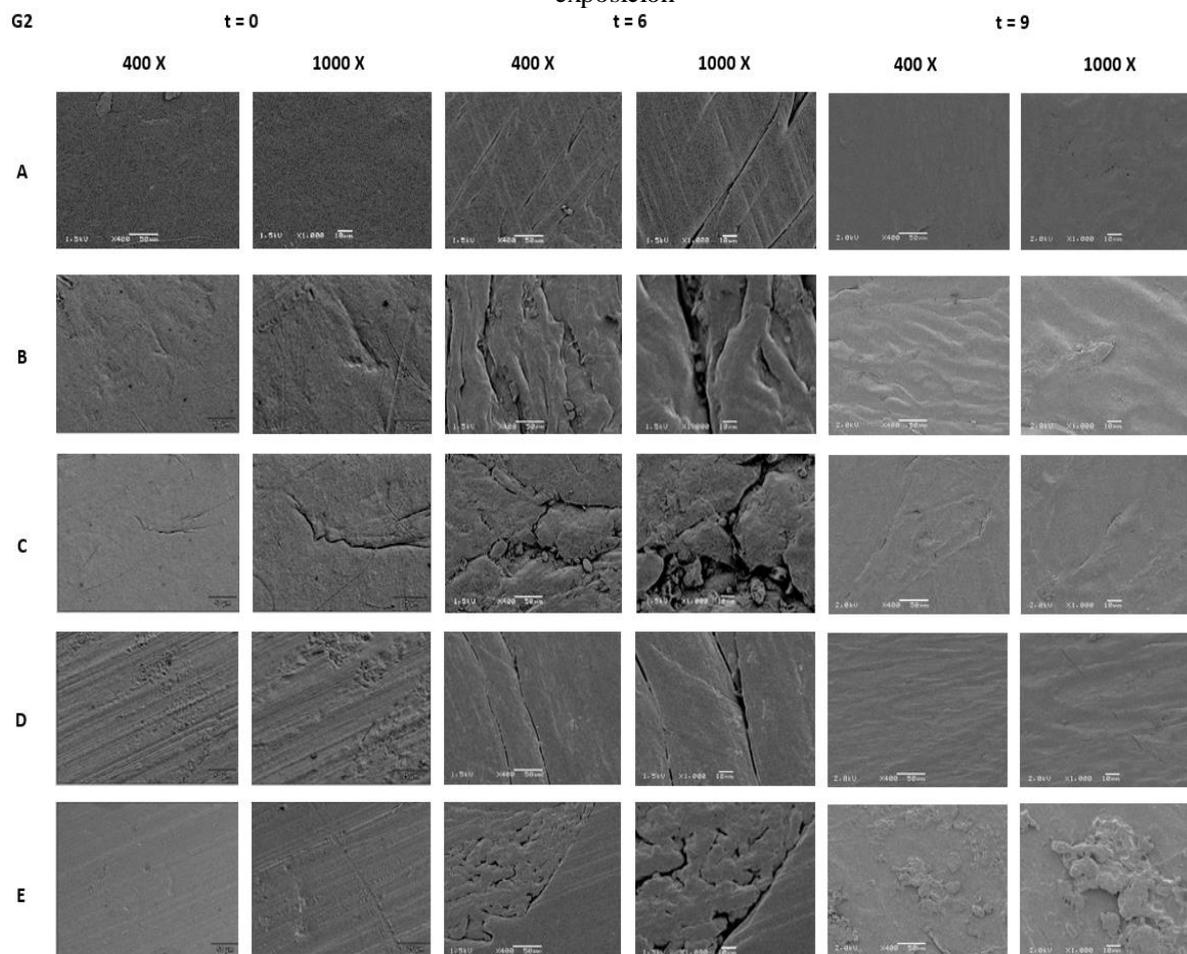
La muestra G2B t = 6 400X también presenta alteraciones superficiales significativas, donde se observa superficie con descamaciones. En el aumento de 1000X se alcanza a observar con más facilidad las grietas entre las descamaciones.

En la micrografía correspondiente a la muestra G2E t = 6 400X también es posible observar una región irregular al lado de una región uniforme, en el aumento de 1000X es posible verificar que el fenómeno de *jetting* ocurrió durante el proceso de inyección de la muestra. El *jetting* o flujo de corriente es un defecto de inyección de apariencia ondulada que aparece en la superficie del elemento moldeado. Esto sucede como respuesta a la restricción que el polímero necesita vencer para poder llegar a la cavidad, de esta manera, un material viscoso a una temperatura inferior de la ideal, es forzado a pasar por una restricción y para vencerla forma una corriente de presión o *jetting* (DU PONT, 2015)

Las muestras observadas después de 6 meses de exposición, para todas las formulaciones del grupo G2, presentan superficie uniforme, con poca aspereza y sin grietas, de esta manera, se puede

concluir que algunas muestras pueden sufrir ataques más fuertes debido a que pueden presentar defectos superficiales después del moldeo, lo que justifica lo sucedido en las muestras G2B y G2C .

Figura 3. Micrografías de las muestras del grupo G2 en función de la formulación y del tiempo de exposición



En la Figura 4, es posible visualizar las micrografías de las muestras G3, se verifica nuevamente la repetición del estándar anteriormente descrito, donde también se evidencia una alteración superficial más pronunciada para la muestra G3C que después de 6 meses de exposición presentó grietas relacionadas a la degradación. La Figura 5, con aumentos de 33X y 400X, muestra más evidente el fenómeno de degradación, con la presencia de grietas y fragilidad del material.

Figura 4. Micrográfias de las muestras del grupo G3 en función de la formulación y del tiempo de exposición al envejecimiento natural

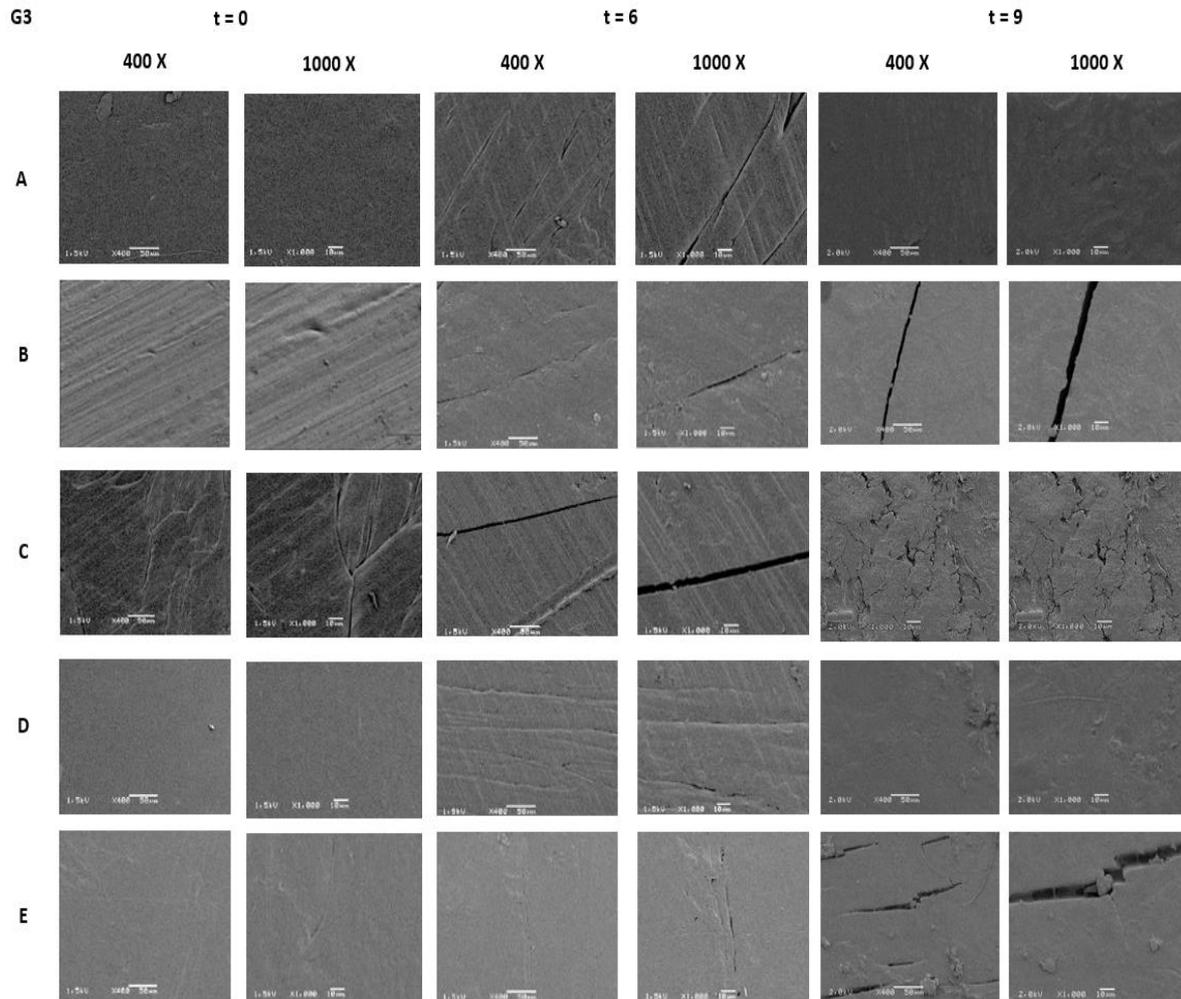
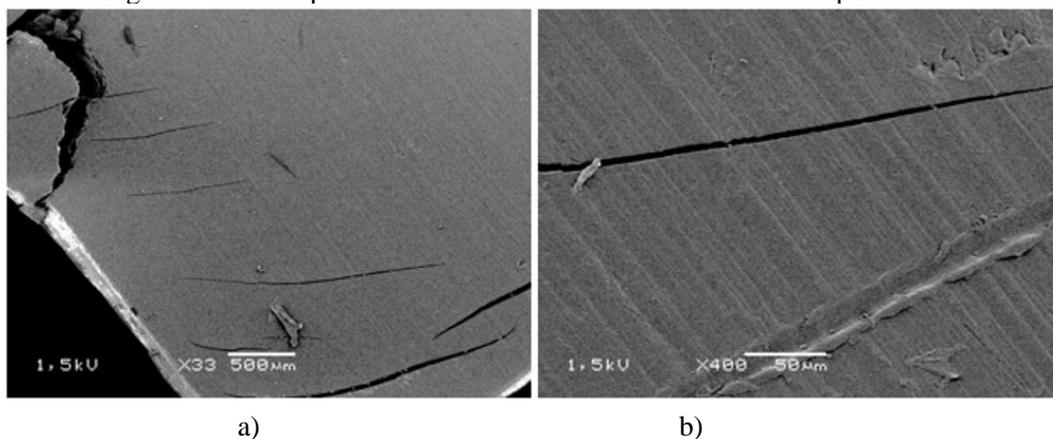


Figura 5. Grietas presentes en la muestra G3C t = 6 en dos ampliaciones.



Durante el ensayo, otras dos muestras también llamaron la atención: las muestras G1C y G2C que pueden ser observados Figura 6 y en la Figura 7 donde se observan deposiciones de material extraño junto a las grietas e irregularidades superficiales presentes en regiones de estas muestras.

Figura 1. Micrografía de la muestra G1C t = 6 en dos ampliaciones

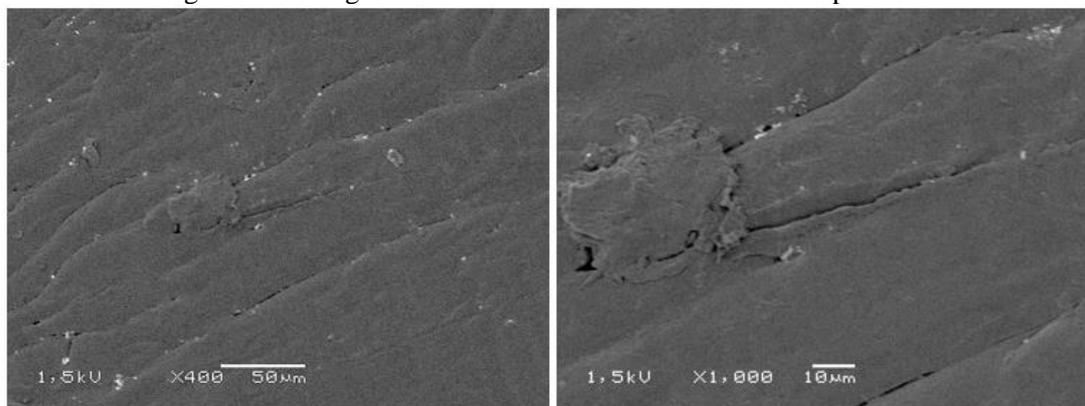
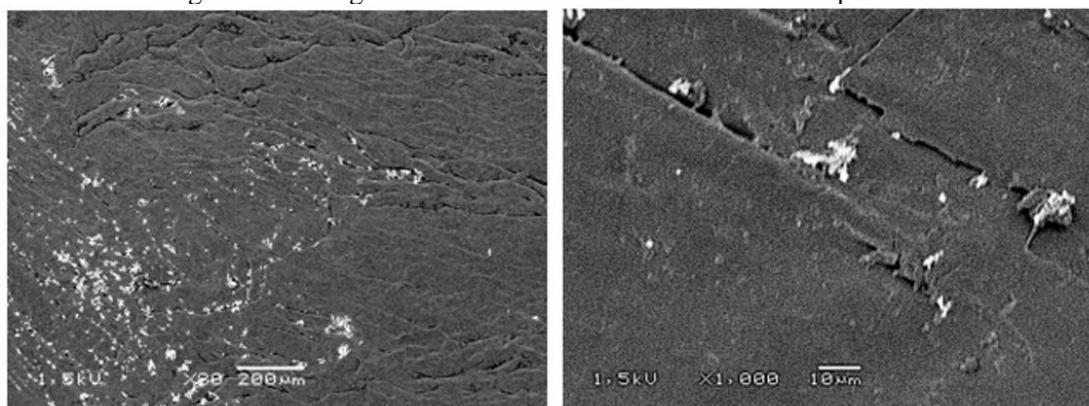


Figura 7. Micrografía de la muestra G2C t = 6 en dos ampliaciones



Es importante recordar que la existencia de imperfecciones puede colaborar para que suceda depósito de agua y de otras sustancias que favorecen las instalaciones de agentes biológicos que contribuyen para la degradación de los materiales. En general, la degradación sucede con la acción conjunta de agentes físicos, químicos y biológicos presentes en el ambiente. El polietileno es un polímero propenso a degradación por intemperie, donde la acción conjunta de luz ultravioleta, temperatura, humedad relativa y aire atmosférico, conducen a una oxidación, reticulación y división de las cadenas poliméricas (RIBEIRO, 2004)

El ataque preferencial, en la mayor parte de polímeros expuestos a envejecimiento natural, ocurre en las irregularidades, generando concentraciones y formación de micro fisuras (BORRELY, 2002). En las imágenes analizadas, se observa este fenómeno principalmente en las muestras G1C, G2B, G2C y G3C, donde la superficie que inicialmente no era tan homogénea en relación a las demás muestras, después de la exposición presenta una superficie bastante alterada.

3.2 Condiciones Climatológicas de Exposición

Procesos de degradación de polímeros dependen de las condiciones climáticas (PAOLI, 2008). En diferentes condiciones climáticas y épocas del año hay variación en el efecto de “blindaje de la atmósfera” y como consecuencia, una variación considerable en el comportamiento del polímero expuesto a intemperie (BRYDSON, 1999). Algunos estudios señalan que gran parte de la degradación por exposición natural, sucede en las estaciones de primavera y verano (RIBEIRO, 2004), periodo en el cual las muestras estuvieron expuestas por más tiempo.

Durante el tiempo de exposición, fueron registrados los datos referentes a las temperaturas (mínima, máxima y media), así como también fueron registrados datos sobre el IUV (índice ultravioleta), en los cuales las muestras fueron expuestas, teniendo en cuenta que, el IUV demostrado en un valor absoluto que varía en una escala de 1-11+, siendo que el índice 11 ya se considera como radiación extrema por la OMS – Organización Mundial de la Salud (WHO, 2015). También se consideraron datos sobre la precipitación pluviométrica en promedio y acumulada.

Aunque sean necesarios muchos años de exposición para obtener un resultado promedio de test para un determinado lugar, este estudio tiene finalidad de verificar las variaciones de la calidad de material a lo largo del tiempo de exposición. La durabilidad relativa de los plásticos en uso al aire libre, puede ser muy diferente, dependiendo de la ubicación de la exposición, debido a diferencias de grado de radiación UV, humedad, temperatura, presencia de contaminantes y de otros factores (ASTM D1435, 2013). De esta manera las condiciones climáticas registradas frente a las cuales las muestras fueron sometidas durante el periodo de exposición a intemperie natural, son presentadas en la tabla 3.

Tabla 3. Condiciones climáticas registradas durante el periodo de exposición de las muestras al envejecimiento natural.

Variables Climatológicas Analizadas		Período de Exposición Sep. 2014- Jun 2015		
		3 meses	6 meses	9 meses
Temperatura	Mínima promedio (°C)	17,5	9,1	8,2
	Menor registrada (°C)	11	11	9
	Máxima promedio (°C)	27,2	8,8	7,8
	Mayor registrada (°C)	35	35	35
	Variación en promedio/día	8,9	9,3	9,3
Precipitação	Precipitación promedio (mm)	5,8	6,6	5,6
	Precipitación Acumulada (mm)	478	943	1224
Insolação	Exposición (h)	610	1284	1794
IUV	IUV promedio	9,5	9,8	8,4
	IUV mínimo registrado	5	5	1
	IUV máximo registrado	14	14	14

Fuente: Adaptado de INMET, The Weather Chanel e Clima Tempo

Teniendo en cuenta los datos presentados en la tabla 3, es posible verificar las condiciones climatológicas frente a los cuales esas muestras fueron sometidas. Las muestras analizadas después de la exposición, sufrieron variaciones de temperatura entre 9°C y 35°C, por lo tanto, se habla de una amplitud de 26°C, la temperatura promedio durante dicho período fue de 22°C. La precipitación acumulada en el periodo fue de 1224 mm, con 1794 horas de insolação con IUV variando de 1 a 14 en el período, teniendo en cuenta el índice 11 considerado extremo, y en promedio 8,4, índice considerado como “radiación muy alta” por la OMS. Estos datos dan una idea sobre las

condiciones agresivas frente a las cuales, las muestras fueron expuestas (DE PAOLI, 2015)(HADDAD, 2013) (MAIA,2000).

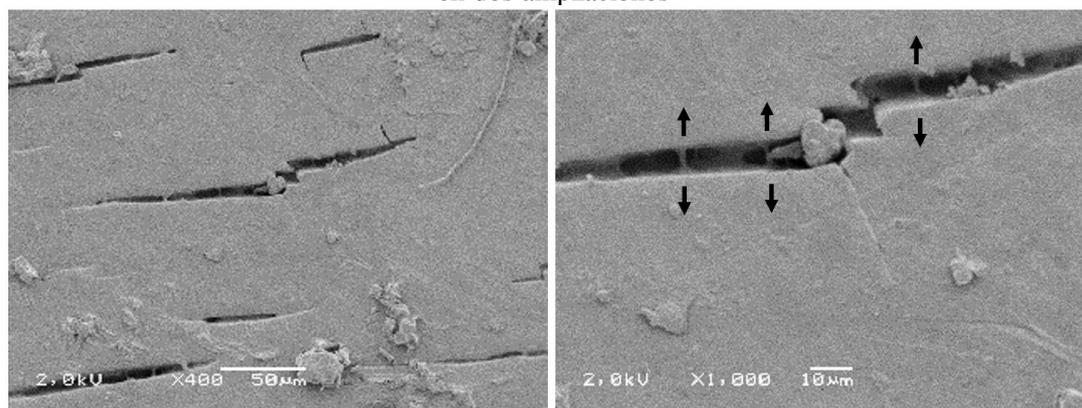
Las radiaciones UV poseen niveles de energía capaces de romper ligaciones presentes en las cadenas poliméricas, también pueden causar una fibrilación, pérdida de transparencia y (RIBEIRO, 2004) .

La radiación solar contribuye para la foto-oxidación del polímero, y una vez que se forman los radiales libres, cualquier aumento de temperatura tendrá una influencia en la aceleración de la degradación (SAMPLERS, 2002).

Además de la intemperie, las muestras también sufrieron con la incidencia de la lluvia ácida. El valor de pH 5,6 se considera como “frontera natural” en la caracterización de la lluvia ácida, valores por debajo de este, son considerados como lluvia ácida (FORNARO, 2006). En Brasil, valores de pH entre 4,3 y 5,3 ya fueron encontrados en Niterói e Rio de Janeiro. En Porto Alegre los valores de pH ya registrados quedaron entre 4,0 y 7,6 y el promedio en 5,5, valor que caracteriza lluvia ácida (MIRLEAN & BAISCH)

El polietileno posee coeficiente de dilatación térmica lineal elevado ($1,3 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$) (TORRES, 2007), permaneciendo el mismo para PEAD reciclado (NALDONY, 2013). La expansión térmica genera tensiones dilatando y contrayendo el material de acuerdo a la variación de la temperatura durante el día y la noche y durante las estaciones del año, ese proceso de dilatación/compresión sumado a la acción de intemperies, radiación UV y lluvia ácida, causan agrietamientos en la superficie de las muestras. Inicialmente son pequeños vacíos, sobre bajas tensiones, normalmente tensiones residuales de procesamiento, que crecen para formar hendiduras y producir la falla en el polímero (RAED, 2002) La Figura 8 presenta este fenómeno observado en la muestra G3E t = 9. Esos agrietamientos comienzan en la superficie del polímero y se extienden para su interior alterando inicialmente la estética y posteriormente las propiedades físicas del material (RIBEIRO, 2004). En la muestra G1E expuesta por 9 meses es posible verificar la fragilidad del material, de acuerdo a lo presentado en la Figura 2.

Figura 8 – Micrografía mostrando la propagación de agrietamientos observada en la muestra G3E t = 9 en dos ampliaciones



La presencia de humedad proveniente del rocío, de la lluvia y de la propia humedad relativa al aire también contribuyó para la degradación de las cadenas poliméricas, puesto que el agua proporciona oxígeno para los procesos de oxidación de las moléculas (AGNELLI, 1991). El agua depositada sobre polímeros expuestos a intemperie, que pueden contener contaminantes en su superficie, forma una región conteniendo vapor de agua y aire, que produce el oxígeno disuelto, acelerando la oxidación del polímero (RIBEIRO, 2004).

Finalmente, se puede afirmar que, la luz, la radiación UV, la temperatura, la humedad y el oxígeno, provocan reacciones de degradación del polímero que lo modificarán visualmente y



perjudicarán sus propiedades químicas y físicas. La radiación UV se considera un agente crítico de degradación, la temperatura dirige su velocidad y la humedad funciona como agente reactivo del proceso proporcionando el oxígeno que quiebra las ligaciones. Otros contaminantes como polvo y contaminantes atmosféricos, pueden actuar conjuntamente en la degradación del polímero (RIBEIRO, 2004). El aumento de la aspereza superficial causada por la generación y propagación de agrietamientos, no solo facilita la acumulación de polvo y de agua, sino la penetración del oxígeno del aire que por consiguiente aumenta la probabilidad de degradación superficial (RIBEIRO, 2004).

4. CONCLUSIONES

Se concluye que defectos superficiales pre-existentes provenientes de fallas en el proceso de inyección de los cuerpos de prueba, pueden favorecer la degradación oxidativa, puesto que, sirven como depósito para agua de lluvia, facilitando el *stress-cracking*. La materia prima obtenida a partir de la trituración de residuos plásticos inyectados y formulada con PEAD virgen, puede ser recuperada, reciclada y valorizada, regresando al proceso para la obtención de nuevos productos, además de pueden utilizar algunos aditivos para obtención de mejores resultados.

Se resalta que las condiciones de exposición al envejecimiento natural, frente a las cuales las muestras fueron expuestas en este estudio, son consideradas agresivas, teniendo en cuenta que la radiación UV alcanzó un índice extremo, de acuerdo con la clasificación utilizada por la OMS. Porto Alegre está situada entre la línea del Ecuador y el polo sur, donde existe un hueco en la capa de ozono, por lo tanto, un buen parámetro geográfico, cuando se trata de evaluar la resistencia y la pérdida de propiedades frente a la exposición al envejecimiento natural.

Agradecimientos

Al IFSul – Sapucaia do Sul e LAPOL – UFRGS, RESAG-SIBRATEC

REFERENCIAS

- ABIPLAST. **Indústria Brasileira de Transformação de Material Plásticos**. Disponível em: <http://file.abiplast.org.br/download/links/links202014/perfil2013_abiplast_final_web.pdf> Acesso em: 28 out. 2014.
- AGNELLI, J.A.M. **Degradação e estabilização de polímeros**. São Carlos, 1991, Apostila do Curso Degradação e estabilização de polímeros oferecida pelo Dep. De Eng. De Materiais da Universidade Federal de São Carlos. Associação Brasileira de Polímeros/Escola SENAI Mário Amato.
- ASTM D 1435-13. **Standard Practice for Outdoor Weathering of Plastics**.
- BORRELY, D. F. **Estudo comparativo da degradação de poliestireno e de poliestireno de alto impacto por envelhecimento natural e artificial**. São Paulo, 108f., 2002. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
- BRYDSON, J. A. **Plastics Materials**. London: Butterworth-Heinemann, 1999.
- CADORE, S. MATOSO, E. et. al. Espectrometria Atômica e a determinação de Elementos Metálicos em Materiais Poliméricos. **Revista Química Nova**. V. 31, p.1533-1542, 2008.
- CHEM TREND. **Frequently Asked Questions Purging Compounds**. Disponível em: <http://www.chemtrend.com/sites/default/files/brochures/chemtrend_thermoplastics_faqs_purging_compounds.pdf> Acesso em: 22 dez. 2014.
- CHEM TREND. **Purge Compounds Improve Efficiency, Reduce Waste and Lower Overall Costs for Thermoplastic Processing**. Disponível em:



<http://www.chemtrend.com/application/thermoplastic_processing/purge_compounds>. Acesso em: 22 dez. 2014.

CLIMATEMPO. **Previsão do Tempo**. Disponível em: <<http://www.climatepo.com.br/previsao-do-tempo/cidade/363/portoalegre-rs>>. Acesso em: 10 Jun. 2015.

DE PAOLI, A. **Degradação e Estabilização de Polímeros**. Disponível em: <<http://www.chemkeys.com/blog/wp-content/uploads/2008/09/polimeros.pdf>> Acesso em: 14 Fev. 2015.

DU PONT. **Engineering polymers: the 'top ten' injection moulding problems**. Disponível em: <http://www2.dupont.com/Plastics/en_US/assets/downloads/top_tens/topten07.pdf>. Acesso em: 18 mai. 2015.

FARIA, F. P.; PACHECO, E. B. A. V. A reciclagem de plástico a partir de conceitos de Produção Mais Limpa. **Revista Gepros: Gestão da Produção, Operações e Sistemas**. Bauru, Ano 6, n. 3, p. 93-107, 2011.

FORNARO, A. Águas de chuva, conceitos e breve histórico: Há chuva ácida no Brasil?. **REVISTA USP**, São Paulo, n.70, p. 78-87, 2006.

GESSER, F. **Reaproveitamento da Borra no Processo de Injeção: Análise Econômica e Ambiental**. Joinville, 71f., 2006. Monografia (Graduação) Universidade do Estado de Santa Catarina.

HADDAD, R.; YOUSIF, E. Photodegradation and photostabilization of polymers, especially polystyrene. **Springer Plus Journal**. New York, v. 2, p. 2013.

INMET. **Climatologia**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/mapaEstacoes>>. Acesso em: 10 Jun. 2015.

INNOVA. **Manual de Injeção**. Disponível em: <http://www.innova.ind.br/upload/others/files/Manual_de_Injecao.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Atlas de saneamento IBGE 2011. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/default_zip.shtm>. Acesso em: 06 jan. 2014.

MAIA, D. R. J.; DE PAOLI, M. Esbranquecimento do Polipropileno Isotático Injetado contendo TiO₂ como Pigmento. **Revista Polímeros Ciência e Tecnologia**, v. 10 n.4 p209-217, 2000.

MANRICH, S. **Processamento de Termoplásticos**. São Paulo: Artliber, 2005.

MARINELLI, A. L.; et.al. Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: uma contribuição para a sustentabilidade amazônica. **Revista Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, v.18 n.2, p.92-99, 2008.

MIRLEAN, N.; VANZ A.; BAISCH B. Níveis e origem da acidificação das chuvas na região do rio grande, RS. **Química Nova**, Rio Grande, v. 23, n.5, p. 590-593, 2000.

TORRES, A. A. U. **Envelhecimento físico químico de tubulações de polietileno de alta densidade empregados em redes de distribuição de derivados de petróleo**. Rio de Janeiro, 180f., 2007. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica

NALDONY, P. R. **Utilização de reforço lignocelulósico em polietileno de alta densidade**. 2013, Curitiba, 68 f., 2013. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná,

Trabajo en evento



YOSHIDA, S.; VENDRAMIN, J.C.; OLIVEIRA C. Tratamento térmico em matrizes de forjaria em prensas de martelo: como aumentar a vida útil. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE FORJAMENTO, 16., Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS – Centro de Tecnologia, 1996. p. 29-39

PEREIRA, E. R., **Avaliação do Desempenho Mecânico de Blendas de PEAD Virgem e Borrás Plásticas Injetadas como Alternativa para Reutilização de Resíduo Industrial.** Porto Alegre: IX Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, 2014.

PIVA, A. M.; WIEBECK, H. **Reciclagem do Plástico: Como Fazer da Reciclagem um Negócio Lucrativo.** São Paulo: ArtLiber, 2004.

RAED, A.; STRONG A. B. Understanding Environmental Stress Crack Resistance (ESCR) in Rotomoulded Polyethylene Tanks. **Rotation**, v. 11, ed. 4, p. 20-25, 2002.

REVISTA DOS MOLDES DE INJEÇÃO DE PLÁSTICOS. Defeito em peças plásticas - Avaliação de defeitos em peças injetadas de termoplásticos Remoldes. **Revista dos Moldes de Injeção de Plásticos**, abril 2013. Disponível em: <<http://www.remoldes.moldesinjecaplasticos.com.br/Abril.pdf>>. Acesso em: 22 dez. 2014.

RIBEIRO, M. V. **Procedimentos para avaliação da degradação de reservatórios de polietileno para água potável expostos as intempéries.** São Paulo, 192f., 2004. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SAMPERS, J. Importance of weathering factors other than uv radiation and temperature in outdoor exposure. **Polymer Degradation and Stability**, Netherlands, v. 76, p. 455-465, 2002.

SANCHES, P. R. **Avaliação das propriedades do Polietileno de alta densidade produzido com catalisador Ziegler-Natta submetido a extrusão reativa com peróxidos orgânicos.** Porto Alegre, 75f., 2002. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Trabajo en evento

YOSHIDA, S.; VENDRAMIN, J.C.; OLIVEIRA C. Tratamento térmico em matrizes de forjaria em prensas de martelo: como aumentar a vida útil. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE FORJAMENTO, 16., Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS – Centro de Tecnologia, 1996. p. 29-39

SCALICE, R. K.; GESSER, F. . Análise do Impacto Econômico e Ambiental do Reaproveitamento da Borra no Processo de Injeção em uma Empresa de Joinville-SC. In: XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP, 2007, Foz do Iguaçu. Anais, 2007.

SILVA, A. C. **Resinas metalocênicas de polietileno – controle das variáveis de processo.** Rio de Janeiro 32f., 2012. Monografia (Graduação) – Centro Universitário estadual da Zona Oeste

THE WEATHER CHANNEL. **Previsão do Tempo.** Disponível em: <<http://br.weather.com/10dias/Porto+Alegre+RS+Brasil+BRXX0186:1:BR>>. Acesso em: 10 Jun. 2015.

TORRES, A. A. U. **Envelhecimento físico químico de tubulações de polietileno de alta densidade empregados em redes de distribuição de derivados de petróleo.** Rio de Janeiro, 180f., 2007. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica

WHO. **Global solar UV. A joint Recommendation of: World Health Organization.** Disponível em: <<http://www.who.int/uv/publications/globalindex/en/>>. Acesso em: 12 Fev. 2015.