

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

ANÁLISE COMPARATIVA DE PEAD, COM E SEM CORDÃO DE SOLDA, SUBMETIDOS A TRAÇÃO UNIAXIAL

Doryan Hilton Filgueira Bezerra, doryan@bol.com.br¹
Danyel Ribeiro Araujo, danyelronney@gmail.com¹
Silvio Batista Soares Neto, silvios.eng@gmail.com¹
Moisés Vieira de Melo, moisesvmelo@yahoo.com.br²
Neil de Oliveira Lima Filho, neillima@hotmail.com²
João Telesforo Nóbrega de Medeiros, jtelesforo@yahoo.com¹
“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

¹Grupo de Estudos de Tribologia e Integridade Estrutural – GET, Departamento de Engenharia Mecânica – DEM, Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, Avenida Salgado Filho, S/N. Caixa Postal 1524 - Campus Universitário - Lagoa Nova, CEP 59072-970, Natal-RN, Brasil.

²Laboratório de Caracterização de Materiais Têxteis – LABCTEX, Departamento de Engenharia Têxtil – DET, Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, Avenida Salgado Filho, S/N. Caixa Postal 1524 - Campus Universitário - Lagoa Nova, CEP 59072-970, Natal-RN, Brasil

Resumo: O polietileno de alta densidade (PEAD) é o material polimérico mais amplamente utilizado. No Rio Grande do Norte, a indústria do petróleo e gás atuante usa-o, em forma de tubos, que são inseridos em dutos de aço carbono revestindo-os internamente, destacando-se pelas seguintes vantagens: amenização da corrosão e abrasão, pressão de operação tão alta quanto a do duto de aço carbono, vida útil superior a 15 anos, instalação do sistema de dutos com um mínimo de modificações, maior proteção ao meio ambiente por evitar vazamentos internos por corrosão e outros fatores como desgaste mecânico, economia através do incremento na vida do duto (aumento de mais de 75% da vida útil), não afeta as propriedades do fluido além da eliminação de tratamentos anticorrosivos internos. Estudos já realizados atestam suas características quando ensaiados, axialmente, através de uma tração num ângulo de 0 graus grau. No presente trabalho buscou-se investigar a performance de corpos de prova em PEAD, usinados em fresa equipada com CNC, com e sem cordão de solda, utilizando como referência a norma ASTM F2136-08, através de soldagem por termofusão, e submetidos a tração uniaxial aplicada em ângulos, não convencionais, de 45 graus e de 75 graus. Os resultados demonstram que, quando solicitado a 45 graus, o PEAD apresenta melhor comportamento mecânico do que quando ele é solicitado a um ângulo de 75 graus.

Palavras-chave: PEAD, Tração, Tubulação.

1. INTRODUÇÃO

Tubulações de aço foram e continuam sendo usadas nas mais diversas aplicações, seja para redes de água ou na indústria de petróleo. Esse tipo de tubulação, porém, não resiste bem à corrosividade do meio ambiente e dos fluidos que passam por eles, o que pode gerar o risco de vazamentos. Com isso, há uma alta demanda de reposição de partes da tubulação, fato que é custoso para a indústria e danoso ao meio-ambiente. Nesse contexto surge o uso de revestimentos poliméricos para tubulações de aço, que consiste na inserção de uma tubulação de polímero por dentro da tubulação metálica. O polímero usado na tubulação deve apresentar boas características estruturais, resistência ao desgaste erosivo, impermeabilidade, ser inerte, e sobretudo ser economicamente viável. Dessa forma, o polietileno de alta densidade, PEAD, apresenta-se como uma boa opção de material para as tubulações. Graças ao baixo custo, abundância e propriedades mecânicas e químicas, o PEAD tem sido o polímero mais utilizado no mundo. Além de proporcionar um aumento de mais de 75% na vida útil do duto, o uso de PEAD dispensa a utilização de métodos anticorrosivos internos (Zavareh *et al.*, 2016, Alam *et al.*, 2015, Kaseem *et al.*, 2015, Vijayan *et al.*, 2016, Meemusaw; Magaraphan, 2016).

A utilização de PEAD como material estrutural e em tubulações já foi reportada por diversos autores tais como (Adib *et al.*, 2015, Benhamena *et al.*, 2011, Khatri *et al.*, 2013). Tratando-se de ensaios uniaxiais de tração, já existem vários modelos que descrevem as propriedades desse material. (Oblak *et al.*, 2016) estudou as propriedades mecânicas

de PEAD extensivamente reciclado, e notou que há uma redução nas propriedades mecânicas do polímero. (Abedini *et al.*, 2015) estudou PEAD submetido ao processo de conformação rotacional, e reportou uma melhora nas propriedades mecânicas do material. O dispositivo de Arcan é um dispositivo utilizado para solicitar o material em uma angulação diferente da de zero graus durante um ensaio de tração. Esse equipamento é bastante versátil, e admite ensaios com diferentes tipos de material (Stamoulis *et al.* 2016, Cognard *et al.* 2011, Antunes *et al.* 2015).

Quando em operação os dutos não só sofrem esforços axiais, dessa forma se faz necessário um estudo mais aprofundado sobre a resposta do PEAD quando submetido a esforços em outras direções. Surge então a hipótese de que há diferença na resposta mecânica do PEAD em diferentes direções, e que se devesse comparar também as regiões contínuas com as regiões que apresentam cordão de solda, gargalo constante na desmontagem dos dutos. O presente trabalho visou comparar o comportamento mecânico de corpos de prova com e sem cordão de solda, retirados de uma tubulação de PEAD normalmente utilizada na indústria petrolífera. Com o auxílio do dispositivo de Arcan, os corpos de prova foram ensaiados em angulações de 45 graus e 75 graus.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada está descrita abaixo, e foi desenvolvida por Bezerra (2016) (tese em andamento).

2.1 Materiais

O material PEAD foi obtido comercialmente na Termoplástico Belfano com as características técnicas elencadas na Tab. 1. No campo a empresa LCB do Brasil, que gentilmente cedeu as amostras para o estudo, executou as termofusões conforme procedimento específico estabelecido pela fabricante de máquinas de termofusão Rothenberger, mostradas na Tab. 2. As termofusões foram realizadas na área do campo de produção Canto do Amaro, distante cerca de 25 km da cidade de Mossoró - RN.

Tabela 1. Características de fabricação dos tubos em Polietileno de Alta Densidade (PEAD) segundo dados fornecidos pela empresa Termoplásticos Belfano.

Material: PEAD			
Produto: TUBO PEAD - 80 LINER EXPANDIDO DE 362 x 9,5 mm			
CARACTERÍSTICAS DE CONTROLE	MÉTODO UTILIZADO	ESPECIFICAÇÕES	RESULTADOS OBTIDOS
ENSAIOS DIMENSIONAIS			
Espessura Mínima	Liner Coating	9,5 - 0,5mm	9,05 mm
Espessura Máxima		9,5 + 0,5 mm	10,00 mm
Diâmetro Externo Médio		362 + 1,0 - 1,0 mm	361,85 - 362,91mm
Ovalização Máxima	ABNT NBR 14301	12,4 mm	7,00 mm
Desvio de Perpendicularidade Máxima		7,0 mm	1,53mm
Comprimento Mínimo		12000 mm	12018 mm
ENSAIOS FÍSICO / QUÍMICOS			
Densidade por Deslocamento de Matéria Prima	ISO 1183 - 1	≥ 0,93 g/cm³ tubos pretos	0,949 g/cm³
		> 0,930 g/cm³ tubos não pretos	
Teor de Negro de Fumo da Matéria Prima	ABNT NBR 9058	2,5 0,5%	2,10%
Densidade por Deslocamento	ISO 1183-1	≥ 0,938 g/cm³ tubos pretos	0,952 g/cm³
		> 0,930 g/cm³ tubos não pretos	
Alongamento da Ruptura	ABPE/M004	Mínimo 350,00 %	546,00%
Tensão no Limite de Escoamento		Mínimo 15 MPa	20.85 Mpa

Conforme (Danieletto, 2007), o método de solda de topo por termofusão (Butt Fusion) é a forma mais tradicional, e utilizada, de soldagem de tubos para unir as peças de tubulação, formando assim, um tramo de tubos, ou "varas", que serão inseridos nas tubulações de aço carbono, com distintas metragens conforme o caso, na construção ou reabilitação de infraestruturas enterradas, como aquedutos, rede de esgotos, oleodutos e gasodutos.

A termofusão é um processo que interfere na cadeia polimérica promovendo um rearranjo estrutural que afeta as propriedades natas do PEAD e, segue sempre o seguinte princípio: eleva-se a temperatura do material das peças a serem soldadas até a sua fusão, comprimi-se as partes fundidas, uma contra a outra, tal que promova-se a interação molecular dos materiais fundidos e, mantendo esta pressão, resfriam-se naturalmente os materiais até a sua recristalização. Sendo assim, o PEAD ao resfriar, tende a se cristalizar, porém esta cristalização não é feita de forma

perfeita e completa. A matéria que se esfriou no estado amorfo permanece entre os chamados cristalitos, que são cristais imperfeitos ou paracristais.

Tabela 2. Procedimento técnico recomendado na termofusão, para a união dos tubos de PEAD em aplicação de campo, conforme recomendações da empresa fabricante da máquina de termofusão Rothenberger.

PLANO GERAL DA JUNTA	MATERIAL BASE
TIPO DE JUNTA: TOPO DESALINHAMENTO: 0 mm FRESTA: 0 NORMA DE REF.: DIN 8077, DIN 16963, DIN 16962	ESPECIFICAÇÃO: PE80 DIÂMETRO: 362 mm ESPESSURA: 9,5 mm
AQUECIMENTO	PRESSÃO
TEMP. DETERMINADA: 213 °C TEMP. PÓS-ESTABILIZAÇÃO: 213 °C	PRESSÃO DE FACEAMENTO: 13 Kgf/cm ² PRESSÃO DE SIMPLES CONTATO: 0 Kgf/cm ² PRESSÃO DE FUSÃO: 13 Kgf/cm ² + PRESSÃO DE ARRASTE
TEMPOS	FORMAÇÃO DO CORDÃO DE SOLDA
TEMPO DE ESTAB. DA PLACA DE AQUECIMENTO: 20 min TEMPO DE PRÉ-AQUECIMENTO: 5 s TEMPO DE AQUECIMENTO: 109 s TEMPO DE RETIRADA DA PLACA DE AQUECIMENTO: 15 s TEMPO PARA ELEVAR A PRESSÃO À PRESSÃO DE SOLDA: 5 s TEMPO DE RESFRIAMENTO: 20 s	POROSIDADE: AUSÊNCIA DE POROSIDADE MICROFISSURAS: AUSÊNCIA DE MICROFISSURAS ALTURA DO CORDÃO DE SOLDA: 2 mm
FIO DA SOLDA	
CONTINUIDADE DO FIO: PRESENTE LARGURA DO FIO: 1,5 mm ESPAÇOS VAZIOS: AUSÊNCIA DE ESPAÇOS VAZIOS MICROFISSURAS: AUSÊNCIA DE MICROFISSURAS	

2.2 Preparação dos corpos de prova

Utilizou-se uma fresadora CNC, para a usinagem dos corpos de prova. A velocidade de avanço foi de 20mm/min e a frequência de 90Hz. As amostras foram confeccionadas seguindo o mesmo programa, buscando-se assim, dimensões análogas, uma vez que a espessura do tubo, de 9,5mm, influencia diretamente os resultados nos ensaios de tração.

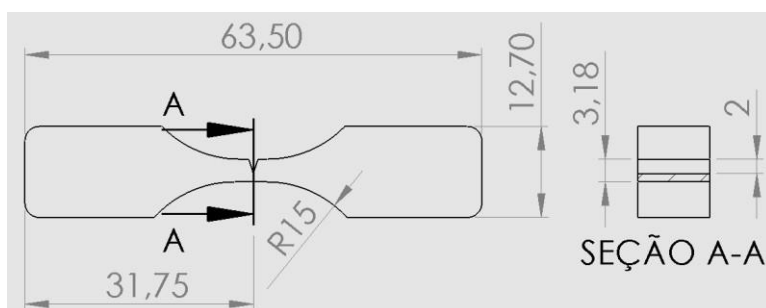


Figura 1. Desenho do corpo de prova para ensaio de tração de acordo com a Norma ASTM F2136-08.



Figura 2. Usinagem das amostras com fresadora CNC.

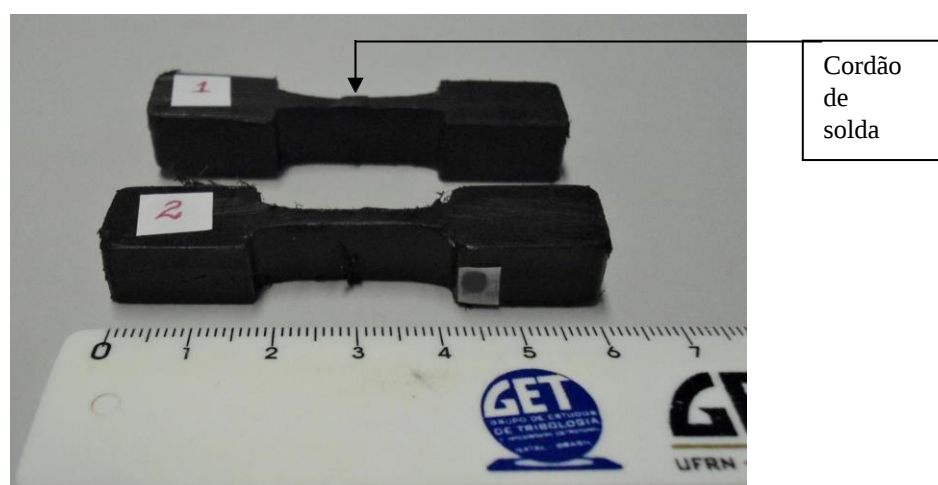


Figura 3. Corpos de prova em PEAD (1) com cordão de solda, (2) Sem cordão de solda.

Os corpos de prova em PEAD, com e sem cordão de solda, foram confeccionados conforme os parâmetros definidos pela norma ASTM F2136-08.

2.3 Ensaio de tração dos corpos de prova

Os corpos de prova foram submetidos a ensaios de tração, uniaxial, em ângulos não convencionais de 45 e 75 graus, no equipamento Tensolab 3000 Mesdlan, com velocidades de tração de 500 e 200 mm/ min. Para isto, desenvolveu-se um dispositivo de Arcan, figuras 4 e 5.



Figura 4. Corpo de Prova no dispositivo de Arcan fixado em máquina de tração Tensolan Mesdlan para ensaio de tração em um ângulo de 45 graus.

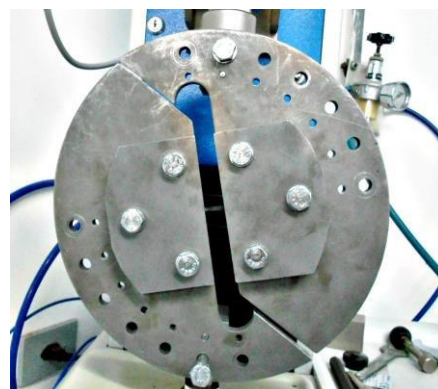


Figura 5. Corpo de Prova no dispositivo de Arcan fixado em máquina de tração Tensolan Mesdlan para ensaio de tração em um ângulo de 75 graus.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

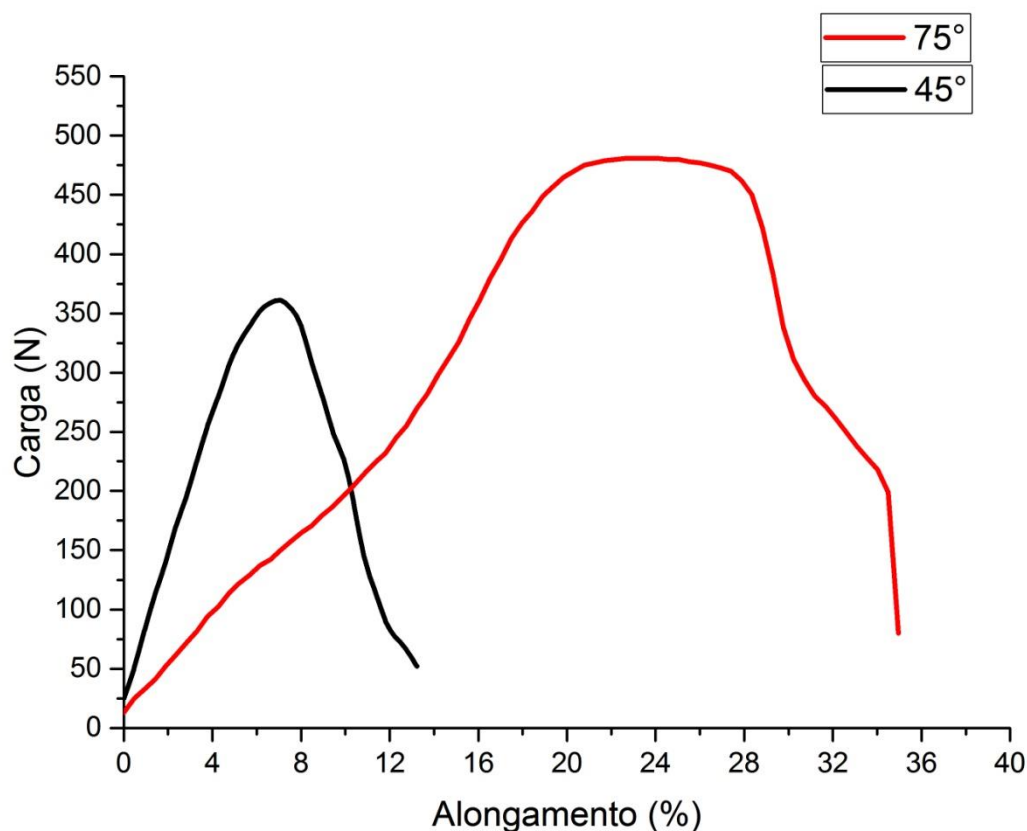
A Tabela 3 mostra os valores do módulo de Young extraídos do ensaio de tração nas angulações descritas. Percebe-se que no ensaio axial, o material com cordão de solda apresentou maior módulo do que o material não soldado, e que houve um decréscimo desse valor à medida que se variou a posição dos corpos de prova. A Tabela 3 ainda mostra a máxima carga suportada pelos materiais soldados, ou não soldados. De acordo com os dados obtidos, nota-se que na posição axial, os corpos de prova soldados suportaram maiores tensões do que os corpos de prova não soldados. Nota-se também uma tendência decrescente da máxima carga suportado com a variação do ângulo de ensaio.

Tabela 3. Módulo de Young e carga máxima suportada pelo material não soldado e pelo material soldado submetidos a tração nos ângulos de 45 graus e 75 graus.

	Módulo de Young (MPa)	Carga máxima (N)
Não soldado 45	278 ± 15	361
Não soldado 75	76 ± 13	481
Soldado 45 graus	243 ± 4	535
Soldado 75 graus	120 ± 16	481

A figura abaixo, Fig. (6), mostra a relação carga-deformação para o material sem cordão de solda, ensaiados nas posições 45 graus e 75 graus. Como pode-se ver, quando solicitado à 45 graus, o material se mostrou-se com mesma resistência ou mais resistente do que quando ensaiado na outra posição em estudo considerando-se até 10% do alongamento. Por outro lado, quando ensaiado na posição 75 graus o material deformou-se quase duas vezes mais do que na outra posição. A Figura (7) é o gráfico carga- deformação resultante do material que apresentava o cordão de solda. Quando solicitado no sentido de 45 graus, o material apresentou-se mais resistente do que quando a solicitação ocorre a 75 graus. À 75 graus, o material se comportou de maneira bastante dútil.

A diminuição da resistência do material à medida que as solicitações se afastam da posição axial, é justificada pela transição de esforços puramente de tensões normais, para um carregamento combinado de cargas normais e cisalhantes. Resultado corrobora com (Bresson *et al.* 2012), no seu trabalho sobre força de juntas adesivas sob carregamentos combinados. Outro fator relevante é a geometria escolhida para a confecção dos corpos de prova, neste caso, baseada na norma ASTM F2136-08, escolhida pela singularidade de poder-se inserir um corte normatizado na área central do corpo de prova permitindo assim, uma comparação direta entre o cordão de solda e o material contínuo. Para garantir a fixação destes corpos de prova, durante os ensaios, foram fabricadas placas, em aço 1020, com as dimensões exatas onde foram encaixados os corpos de prova e, estas placas por sua vez, foram travadas e aparafusadas no corpo do dispositivo de Arcan. Vale salientar que nas duas posições ensaiadas temos esforços combinados, porém na posição 75 graus, estamos "mais próximos" de um cisalhamento puro que, de fato ocorre a 90 graus.

**Figura 6. Carga-deformação para material não soldado.**

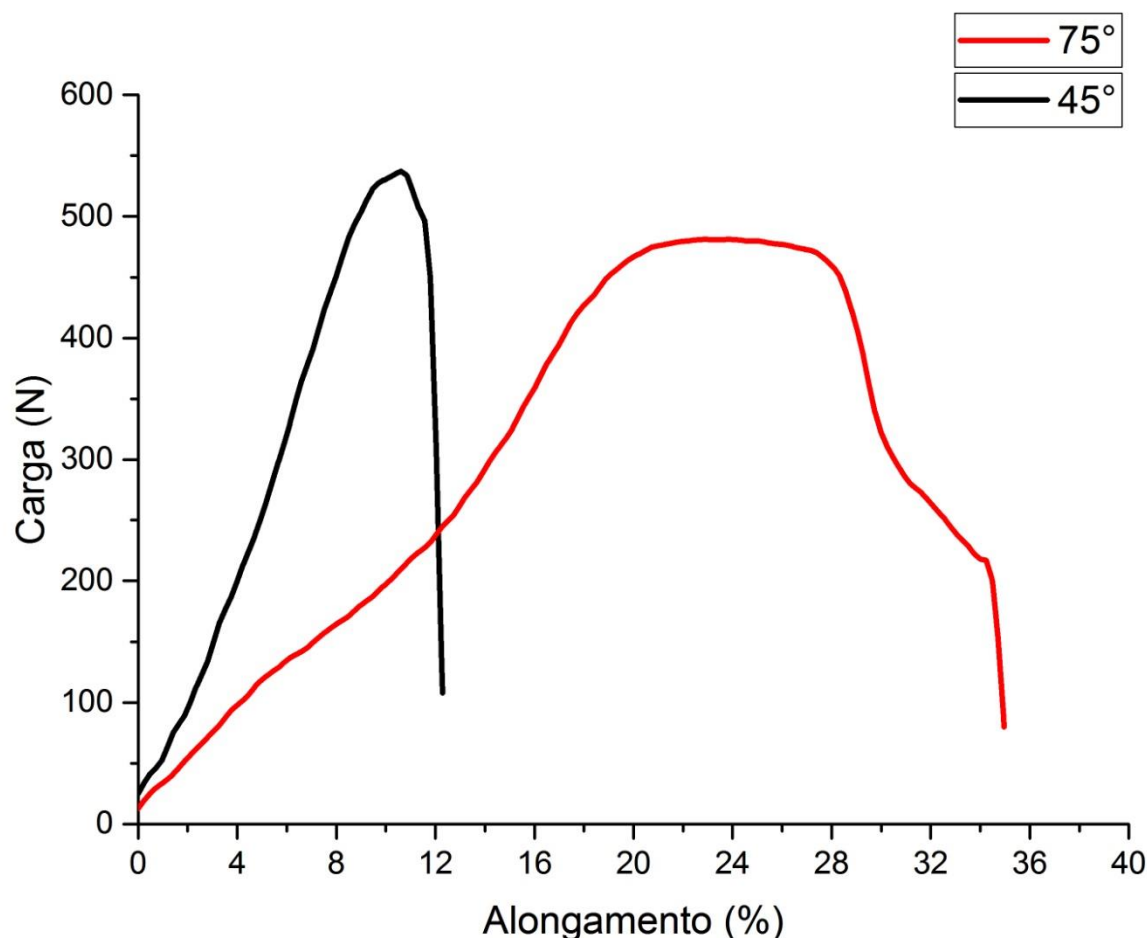


Figura 7. Carga-deformação para material soldado.

4. CONCLUSÃO

O PEAD apresentou comportamentos diferentes quando foi inserido o cordão de solda e variado o ângulo de solicitação. Quando solicitado à 45 graus, o material não soldado foi mais resistente do que quando a solda estava presente, o que pode ser explicado pelo cisalhamento gerado no cordão devido ao ângulo aplicado. Já na posição de 75 graus o material com solda apresentou maior módulo de Young. Presume-se que a combinação dos fatores geometria dos corpos de prova, velocidades utilizadas durante o ensaio, sistema de fixação dos corpos de prova e os ângulos adotados influenciaram, porém não desmereceram, os resultados obtidos já que o intuito foi simular, o mais próximo possível da realidade, as condições de trabalho impostas ao PEAD nos oleodutos e gasodutos "em campo". Um futuro trabalho, a ser realizado acrescentando-se mais três ângulos distintos para o ensaios de tração, trará a possibilidade de mapear-se uma gama maior de resultados que possibilitarão um estudo com melhor detalhamento dos comportamentos do PEAD, sob tensões combinadas ou não, nas citadas tubulações.

5. REFERÊNCIAS

- ABEDINI, A.; RAHIMLOU, P.; ASIABI, T.; AHMADI, S. R.; AZDAST, T. Effect of flow forming on mechanical properties of high density polyethylene pipes. **Journal of Manufacturing Processes**, v. 19, p. 155–162, 2015. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1526612515000596>>. Acesso em: 5/4/2016.
- ADIB, A.; DOMÍNGUEZ, C.; GARCÍA, R. A.; GARRIDO, M. A.; RODRÍGUEZ, J. Influence of specimen geometry on the slow crack growth testing of HDPE for pipe applications. **Polymer Testing**, v. 48, p. 104–110, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142941815002172>>. Acesso em: 5/4/2016.
- ALAM, T.; AMINUL ISLAM, M.; FARHAT, Z. N. Slurry Erosion of Pipeline Steel: Effect of Velocity and Microstructure. **Journal of Tribology**, v. 138, n. 2, p. 021604, 2015. Disponível em: <<http://tribology.asmedigitalcollection.asme.org/article.aspx?doi=10.1115/1.4031599>>. Acesso em: 5/4/2016.
- ANTUNES, D. M.; INFANTE, V.; REIS, A. Experimental Adhesive Failure Criteria for Analysis of Aerospace Structures. **Procedia Engineering**, v. 114, p. 416–421, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705815017269>>. Acesso em: 6/4/2016.
- BENHAMENA, A.; AMINALLAH, L.; BOUIADJRA, B. B.; et al. J integral solution for semi-elliptical surface crack in high density poly-ethylene pipe under bending. **Materials & Design**, v. 32, n. 5, p. 2561–2569, 2011.

Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0261306911000653>>. Acesso em: 5/4/2016.

BRESSON, G.; JUMEL, J.; SHANAHAN, M. E. R.; SERIN, P. Strength of adhesively bonded joints under mixed axial and shear loading. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, v. 35, p. 27–35, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143749611001734>>. Acesso em: 7/3/2016.

COGNARD, J. Y.; SOHIER, L.; DAVIES, P. A modified Arcan test to analyze the behavior of composites and their assemblies under out-of-plane loadings. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 42, n. 1, p. 111–121, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359835X10002800>>. Acesso em: 6/4/2016.

KASEEM, M.; HAMAD, K.; DERI, F.; KO, Y. G. Material properties of polyethylene/wood composites: A review of recent works. **Polymer Science Series A**, v. 57, n. 6, p. 689–703, 2015. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1134/S0965545X15070068>>. Acesso em: 5/4/2016.

KHATRI, D. K.; HAN, J.; PARSONS, R. L.; et al. Laboratory Evaluation of Deformations of Steel-Reinforced High-Density Polyethylene Pipes under Static Loads. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 25, n. 12, p. 1964–1969, 2013. Disponível em: <<http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29MT.1943-5533.0000779>>. Acesso em: 5/4/2016.

MEEMUSAW, M.; MAGARAPHAN, R. Surface and bulk properties improvement of HDPE by a batch plasma treatment. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 133, n. 7, p. n/a–n/a, 2016. Disponível em: <<http://doi.wiley.com/10.1002/app.43011>>. Acesso em: 5/4/2016.

OBLAK, P.; GONZALEZ-GUTIERREZ, J.; ZUPANČIČ, B.; AULOVA, A.; EMRI, I. Mechanical Properties of Extensively Recycled High Density Polyethylene (HDPE). **Materials Today: Proceedings**, v. 3, n. 4, p. 1097–1102, 2016. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214785316002601>>. Acesso em: 5/4/2016.

STAMOULIS, G.; CARRERE, N.; COGNARD, J.-Y.; DAVIES, P.; BADULESCU, C. Investigating the fracture behavior of adhesively bonded metallic joints using the Arcan fixture. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, v. 66, p. 147–159, 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143749616000026>>. Acesso em: 6/4/2016.

VIJAYAN, V.; POKHAREL, P.; KANG, M. K.; CHOI, S. Thermal and mechanical properties of e-beam irradiated butt-fusion joint in high-density polyethylene pipes. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 122, p. 108–116, 2016. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0969806X16300044>>. Acesso em: 5/4/2016.

ZAVAREH, M. A.; SARHAN, A. A. D. M.; ZAVAREH, P. A.; et al. Development and protection evaluation of two new, advanced ceramic composite thermal spray coatings, Al₂O₃–40TiO₂ and Cr₃C₂–20NiCr on carbon steel petroleum oil piping. **Ceramics International**, v. 42, n. 4, p. 5203–5210, 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272884215023354>>. Acesso em: 30/3/2016.

5. RESPONSABILIDADE AUTORAL

COMPARATIVE ANALYSIS OF HDPE, WITH AND WITHOUT WELD BEAD, SUBMITTED TO UNIAXIAL TENSION

Doryan Hilton Filgueira Bezerra, doryan@bol.com.br¹
 Danyel Ribeiro Araujo, danyelronney@gmail.com¹
 Silvio Batista Soares Neto, silvios.eng@gmail.com¹
 Moisés Vieira de Melo, moisesvmelo@yahoo.com.br²
 Neil de Oliveira Lima Filho, neillima@hotmail.com²
 João Telesforo Nóbrega de Medeiros, jtelesforo@yahoo.com¹
 The authors are solely responsible for the content of this work

¹Group Of Tribology Studies and Structural Integrity – GET, Mechanical Engineering Department – DEM, Federal University of RN - UFRN, Avenida Salgado Filho, S/N. P.O. 1524 – University Campus - Lagoa Nova, ZIP 59072-970, Natal-RN, Brazil.

²Laboratory of Textile Materials Characterization – LABCTEX, Textile Engineering Department – DET, Federal University of RN - UFRN, Avenida Salgado Filho, S/N. P.O. 1524 – University Campus - Lagoa Nova, ZIP 59072-970, Natal-RN, Brazil.

Abstract. *High density polyethylene (HDPE) is the most widely used polymeric material. In Rio Grande do Norte, the oil industry and active gas uses it in the form of tubes, which are inserted in carbon steel pipeline coating them internally, highlighting the following advantages: amelioration of corrosion and abrasion, pressure as high operation for the carbon steel pipe, useful life of more than 15 years, installation of systems ducts with minimal modifications, greater environmental protection by preventing internal leaks by corrosion and other factors such as mechanical wear economy through increase in product life (increase of more than 75% of life), does not affect the fluid properties besides the elimination of internal anticorrosive treatment. Studies have attest its characteristics when tested axially through a draw on a 0 degree angle. In the present study we sought to investigate the performance of specimens in HDPE, machined with CNC milling machine, with and without weld bead using as a reference the ASTM F2136-08, through heat fusion welding, and subjected to uniaxial tension applied at angles, unconventional, of 45 and 75 degrees. The results demonstrate that, when submitted to 45 degrees, HDPE has better mechanical behavior than when he is submitted at an angle of 75 degrees.*

Keywords: HDPE, Traction , ducts.