

## **ESTUDO DE RUGOSIDADE EM TUBOS COMERCIAIS DE POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE (PEBD), FABRICADOS COM MATERIAL RECICLADO.**

*Stuart C. Bueno da Silva<sup>1</sup> & Welitom Ttatom Pereira da Silva<sup>2</sup>*

**Resumo** – O Polietileno (PE) é um material de extensa aplicação comercial. A sua comercialização, em material reciclado, para fins de condução hidráulica, é significativa. Principalmente devido ao seu baixo custo em relação ao material virgem. Por outro lado, as informações referentes aos aspectos hidráulicos destes materiais são ausentes. Neste contexto, podem-se exemplificar as características da rugosidade interna. Desta forma, a presente pesquisa apetece corroborar com informações referentes a rugosidades de tubos reciclados de Polietileno de Baixa Densidade (PEBD), por meio da técnica de microscopia óptica. As rugosidades dos tubos reciclados das amostras selecionadas foram verificadas, obtendo valores médios de 0,0090 e 0,0084 (mm). Recomenda-se a extensão deste estudo para outros tipos de resinas plásticas, diâmetros e fabricantes.

**Palavras-Chave** – tubos PEBD, tubos plásticos, microscopia.

## **RUGOSITY STUDY IN LOW DENSITY POLYETHYLENE (LDPE) COMMERCIAL PIPES, MADE OF RECYCLED MATERIAL**

**Abstract** – Polyethylene (PE) is an extensive commercial application material. Its commercialization, in recycled material, for purposes of hydraulic conduction, is significant. Mainly due to its low cost compared to virgin material. On the other hand, information regarding the hydraulic aspects of these materials is absent. In this context, the characteristics of the internal roughness can be exemplified. In this way, the present research intends to corroborate with information about roughness of recycled low density polyethylene (LDPE) pipes, using the optical microscopy technique. The rugosities of the recycled tubes of the selected samples were verified, obtaining average values of 0.0090 and 0.0084 (mm). It is recommended to extend this study to other types of plastic resins, diameters and manufacturers.

**Keywords** – LDPE pipes, plastic tubes, microscopy.

<sup>1</sup>Graduando do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso – DESA/UFMT, Av. Fernando Corrêa da Costa, nº 2367 – Bairro Boa Esperança. Cuiabá – MT – 78060-900, e-mail: stuartbueno@gmail.com

<sup>2</sup> Professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso – DESA/UFMT, Av. Fernando Corrêa da Costa, nº 2367 – Bairro Boa Esperança. Cuiabá – MT – 78060-900, e-mail: welitom@cpd.ufmt.br.

## INTRODUÇÃO

O Polietileno (PE) é um material de extensa aplicação comercial, abrangendo desde isolamento de fios telefônicos, geomembranas, revestimento de tubulações metálicas, tubos para redes de saneamento e de distribuição de gás, entre outros (MESQUITA, 2010).

A sua comercialização, em material reciclado, para fins de condução hidráulica, é significativa. Principalmente devido ao seu baixo custo em relação ao material virgem. Por outro lado, as informações referentes aos aspectos hidráulicos destes materiais são ausentes, ou ainda, incorretas e/ou incompletas (SARZEDAS, 2009). Neste contexto, podem-se exemplificar as características da rugosidade interna.

A rugosidade de condutos hidráulicos é uma parte integrante substancial na determinação da perda de carga, a qual, por sua vez, é peculiar aos estudos referentes ao comportamento físico dos fluidos. Dentre as aplicações da caracterização da rugosidade, pode-se citar: dimensionamento de Instalações Sanitárias Hidráulico-Prediais; Sistema de Tratamento e Abastecimento de Água; Drenagem; Irrigação, entre outros. Todavia, a ausência de informações a cerca das rugosidades dos condutos hidráulicos, remete ao projetista, inexatidão em seus cálculos de perda de carga (Kamand, 1998).

A determinação da rugosidade é considerada heteróclita e difícil, pois compreende, além do nível de acabamento das superfícies e idade das canalizações, o tipo de processo industrial (Porto, 2006).

Neste contexto, a presente pesquisa apetece corroborar com informações referentes a rugosidades de tubos reciclados de Polietileno de Baixa Densidade (PEBD), por meio da técnica de microscopia óptica.

## OBJETIVO

Caracterizar a rugosidade de tubos comerciais de polietileno de baixa densidade, fabricados com material reciclado.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O método firmou-se nos seguintes estágios: (1) revisão em literatura; (2) aquisição de amostras de tubos comerciais de PEBD, de fabricantes distintos; (3) tratamento das amostras; (4) observação microscópica da rugosidade dos tubos selecionados; (5) determinação das rugosidades dos tubos selecionados; e, (6) estudo estatístico dos resultados.

A revisão em literatura (livros, artigos científicos, monografia, dissertação, teses, e similares) consistiu na consulta de informações homólogas a temática abordada. No estágio seguinte, fizeram-se a aquisição, no mercado local especializado na comercialização de tubulações para ramais prediais, de tubos de PEBD (diâmetro nominal de 1/2 polegada), confeccionados com material reciclado e oriundos de fabricantes distintos. No tratamento das amostras, os tubos selecionados foram cortados transversalmente e simetricamente, com dimensões de 2 mm × DE (diâmetro externo), de acordo com a Figura 1.

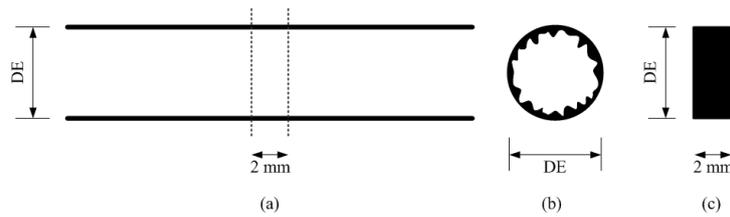


Figura 1 – Tratamento da amostra: (a) corte longitudinal de tubo, com amostra a ser cortada; (b) corte transversal da amostra a ser analisada; (c) vista longitudinal da amostra a ser analisada.

Fonte: Campos (2013).

As observações microscópicas das rugosidades internas, em quatro regiões das respectivas amostras, deram-se com auxílio do microscópio Primo Star (Axio Cam ERc5s) da marca ZEEIS. Na Figura 2, indicam-se as particularidades envolvidas na observação microscópica. Os cálculos das rugosidades em cada região efetuaram-se por meio das equações 1 e 2, ajustados de Faccio (2002).

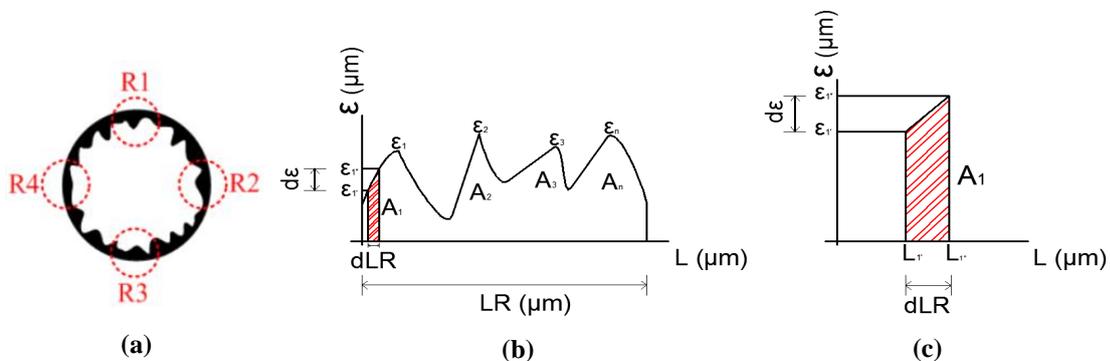


Figura 2 – Análise microscópica: (a) regiões consideradas em cada amostra (R1, R2, RE e R4); (b) áreas observadas na microscopia (A1, A2, A3... An) e rugosidades ( $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3... \epsilon_n$ ); (c) porção elementar da região estudada.

As especificações implicados na caracterização da rugosidade (apontadas nas equações 1 e 2) efetivaram-se com recursos, de software de cálculo e de registro fotográfico, agregados ao microscópio Primo Star (Axio Cam ERc5s).

$$\epsilon_R = \frac{1}{L_m} \int_0^{L_m} A. da \quad (1)$$

$$\epsilon_{RAF} = \frac{1}{4} \sum_{R=1}^4 \epsilon_R \quad (2)$$

Onde:  $\epsilon_R$  ( $\mu\text{m}$ ) é a rugosidade média de uma dada região;  $\epsilon_{RAF}$  ( $\mu\text{m}$ ) retrata-se da rugosidade média da amostra; R refere-se à identificação da região, variando de 1 a 4;  $L_R$  ( $\mu\text{m}$ ) é o comprimento da região observada;  $\epsilon$  ( $\mu\text{m}$ ) é a rugosidade de uma determinada região, verificada em  $dL$  ( $\mu\text{m}$ );  $dL$  ( $\mu\text{m}$ ) é a parte infinitesimal de  $L$ ; e,  $A$  ( $\mu\text{m}^2$ ) é a área observada na região (R) das rugosidades ( $\epsilon$ ). Quanto ao estudo estatístico dos resultados, utilizou-se da estatística descritiva das magnitudes verificadas de rugosidade para as distintas amostras (F1- fabricante 1 e F2 – fabricante 2).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta as identificações das amostras dos tubos recicladas de PEBD selecionadas.

Tabela 1 - Identificação dos tubos adquiridos.

Fabricante	Material	DE (mm)	DN (mm)	DI (mm)	e (mm)	Quantidade de amostras
1	*PEBD	18	15	15	1,5	5
2	*PEBD	18	15	14	2	5

\*produzido em material reciclado; DE (diâmetro externo); DN (diâmetro nominal); DI (diâmetro interno) e; e (espessura da parede da tubulação).

Os resultados dos testes realizados nas respectivas tubulações estão apresentados nas Tabelas 2 e 3. De acordo com os dados explicitados nas Tabelas 2 e 3, as magnitudes de rugosidades 0092, (mm). As referentes das amostras do Fabricante 2, foram de, encontradas nas amostras 1, 2, 3, 4 e 5, do fabricante 1 (F1), foram respectivamente de, 0, 0092, 0,0088, 0,0090, 0,0091 e 0,0091. Para o Fabricante 2 (F2), obteve-se os valores de, 0,0068, 0,0126, 0,0075, 0,0067 e 0,0085 (mm).

Tabela 2 - Resultados dos critérios implicados na caracterização da rugosidade das amostras F1.

Amostra	Regiões	A ( $\mu\text{m}^2$ )	$L_R$ ( $\mu\text{m}$ )	$\epsilon_R$ ( $\mu\text{m}$ )	$\epsilon_{RAF}$ ( $\mu\text{m}$ )	$\epsilon_R$ (mm)	$\epsilon_{RAF}$ (mm)
1	R1	14591,00	1732,20	8,4234	9,1765	0,0084	0,0092
	R2	14582,00	1568,35	9,2977		0,0093	
	R3	15602,00	1682,42	9,2736		0,0093	
	R4	15464,00	1592,34	9,7115		0,0097	
Amostra	Regiões	A ( $\mu\text{m}^2$ )	$L_R$ ( $\mu\text{m}$ )	$\epsilon_R$ ( $\mu\text{m}$ )	$\epsilon_{RAF}$ ( $\mu\text{m}$ )	$\epsilon_R$ (mm)	$\epsilon_{RAF}$ (mm)
2	R1	15615,00	1959,45	7,9691	8,7624	0,0080	0,0088
	R2	16224,00	1943,98	8,3458		0,0083	
	R3	15876,00	1779,23	8,9230		0,0089	
	R4	16893,00	1721,67	9,8120		0,0098	
Amostra	Regiões	A ( $\mu\text{m}^2$ )	$L_R$ ( $\mu\text{m}$ )	$\epsilon_R$ ( $\mu\text{m}$ )	$\epsilon_{RAF}$ ( $\mu\text{m}$ )	$\epsilon_R$ (mm)	$\epsilon_{RAF}$ (mm)
3	R1	15798,00	1850,72	8,5361	8,9998	0,0085	0,0090
	R2	15528,00	1868,67	8,3097		0,0083	
	R3	16830,00	1751,12	9,6110		0,0096	
	R4	16886,00	1769,55	9,5426		0,0095	
Amostra	Regiões	A ( $\mu\text{m}^2$ )	$L_R$ ( $\mu\text{m}$ )	$\epsilon_R$ ( $\mu\text{m}$ )	$\epsilon_{RAF}$ ( $\mu\text{m}$ )	$\epsilon_R$ (mm)	$\epsilon_{RAF}$ (mm)
4	R1	15892,00	1814,23	8,7596	9,0940	0,0088	0,0091
	R2	16838,00	1760,11	9,5664		0,0096	
	R3	16345,00	1863,34	8,7719		0,0088	
	R4	16089,00	1734,12	9,2779		0,0093	
Amostra	Regiões	A ( $\mu\text{m}^2$ )	$L_R$ ( $\mu\text{m}$ )	$\epsilon_R$ ( $\mu\text{m}$ )	$\epsilon_{RAF}$ ( $\mu\text{m}$ )	$\epsilon_R$ (mm)	$\epsilon_{RAF}$ (mm)
5	R1	13020,00	1384,12	9,4067	9,0526	0,0094	0,0091
	R2	14506,00	1750,89	8,2849		0,0083	
	R3	12350,00	1590,12	7,7667		0,0078	
	R4	15256,00	1418,90	10,7520		0,0108	

Os valores de rugosidade encontradas para as amostras do fabricante 2, são superiores as dos fabricante 1, contudo, para ambos os valores de F1 e F2, condizem com as variações típicas de rugosidade de tubos em material plásticos verificada na literatura, 0,0015 até 0,010 mm (Porto, 2006). Campos *et al.* (2013) fez um estudo da rugosidade hidráulica de tubos de PEMD e PEAD, por meio de análise microscópica. Os resultados indicaram valores médios de rugosidade de 0,0029 e 0,0041 mm, para PEMD (reciclado) e PEAD (não reciclado), respectivamente. Também foram observados diferentes valores de rugosidade para um mesmo material, variando para cada diâmetro.

Tabela 2 - Resultados dos critérios implicados na caracterização da rugosidade das amostras F2.

Amostra	Regiões	A ( $\mu\text{m}^2$ )	L <sub>R</sub> ( $\mu\text{m}$ )	$\epsilon_R$ ( $\mu\text{m}$ )	$\epsilon_{RAF}$ ( $\mu\text{m}$ )	$\epsilon_R$ (mm)	$\epsilon_{RAF}$ (mm)
1	R1	10123,00	1284,00	7,8840	6,7890	0,0079	0,0068
	R2	13176,00	1797,00	7,3322		0,0073	
	R3	10205,00	1649,00	6,1886		0,0062	
	R4	8972,00	1560,00	5,7513		0,0058	
Amostra	Regiões	A ( $\mu\text{m}^2$ )	L <sub>R</sub> ( $\mu\text{m}$ )	$\epsilon_R$ ( $\mu\text{m}$ )	$\epsilon_{RAF}$ ( $\mu\text{m}$ )	$\epsilon_R$ (mm)	$\epsilon_{RAF}$ (mm)
2	R1	27997,00	1905,27	14,6945	12,6375	0,0147	0,0126
	R2	11183,00	2200,00	5,0832		0,0051	
	R3	24441,00	1775,46	13,7660		0,0138	
	R4	28119,00	1653,44	17,0064		0,0170	
Amostra	Regiões	A ( $\mu\text{m}^2$ )	L <sub>R</sub> ( $\mu\text{m}$ )	$\epsilon_R$ ( $\mu\text{m}$ )	$\epsilon_{RAF}$ ( $\mu\text{m}$ )	$\epsilon_R$ (mm)	$\epsilon_{RAF}$ (mm)
3	R1	12028,00	1744,41	6,8952	7,4944	0,0069	0,0075
	R2	15386,00	2453,00	6,2723		0,0063	
	R3	16605,00	2543,00	6,5297		0,0065	
	R4	20527,00	1996,74	10,2803		0,0103	
Amostra	Regiões	A ( $\mu\text{m}^2$ )	L <sub>R</sub> ( $\mu\text{m}$ )	$\epsilon_R$ ( $\mu\text{m}$ )	$\epsilon_{RAF}$ ( $\mu\text{m}$ )	$\epsilon_R$ (mm)	$\epsilon_{RAF}$ (mm)
4	R1	18460,00	2770,75	6,6625	6,6854	0,0067	0,0067
	R2	17086,52	2242,14	7,6206		0,0076	
	R3	14154,00	2519,01	5,6189		0,0056	
	R4	8065,00	1179,18	6,8395		0,0068	
Amostra	Regiões	A ( $\mu\text{m}^2$ )	L <sub>R</sub> ( $\mu\text{m}$ )	$\epsilon_R$ ( $\mu\text{m}$ )	$\epsilon_{RAF}$ ( $\mu\text{m}$ )	$\epsilon_R$ (mm)	$\epsilon_{RAF}$ (mm)
5	R1	12925,00	1798,28	7,1874	8,5082	0,0072	0,0085
	R2	21998,00	2150,55	10,2290		0,0102	
	R3	19959,00	2090,00	9,5498		0,0095	
	R4	12111,00	1713,82	7,0667		0,0071	

Tabela 3 - Síntese estatística das rugosidades das amostras F1 e F2.

Fabricante	F1	F2
Média (mm)	0,0090	0,0084
Mínimo (mm)	0,0078	0,0051
Máximo (mm)	0,0108	0,0170
Desvio padrão (mm)	0,0007	0,0033
Contagem	20	20

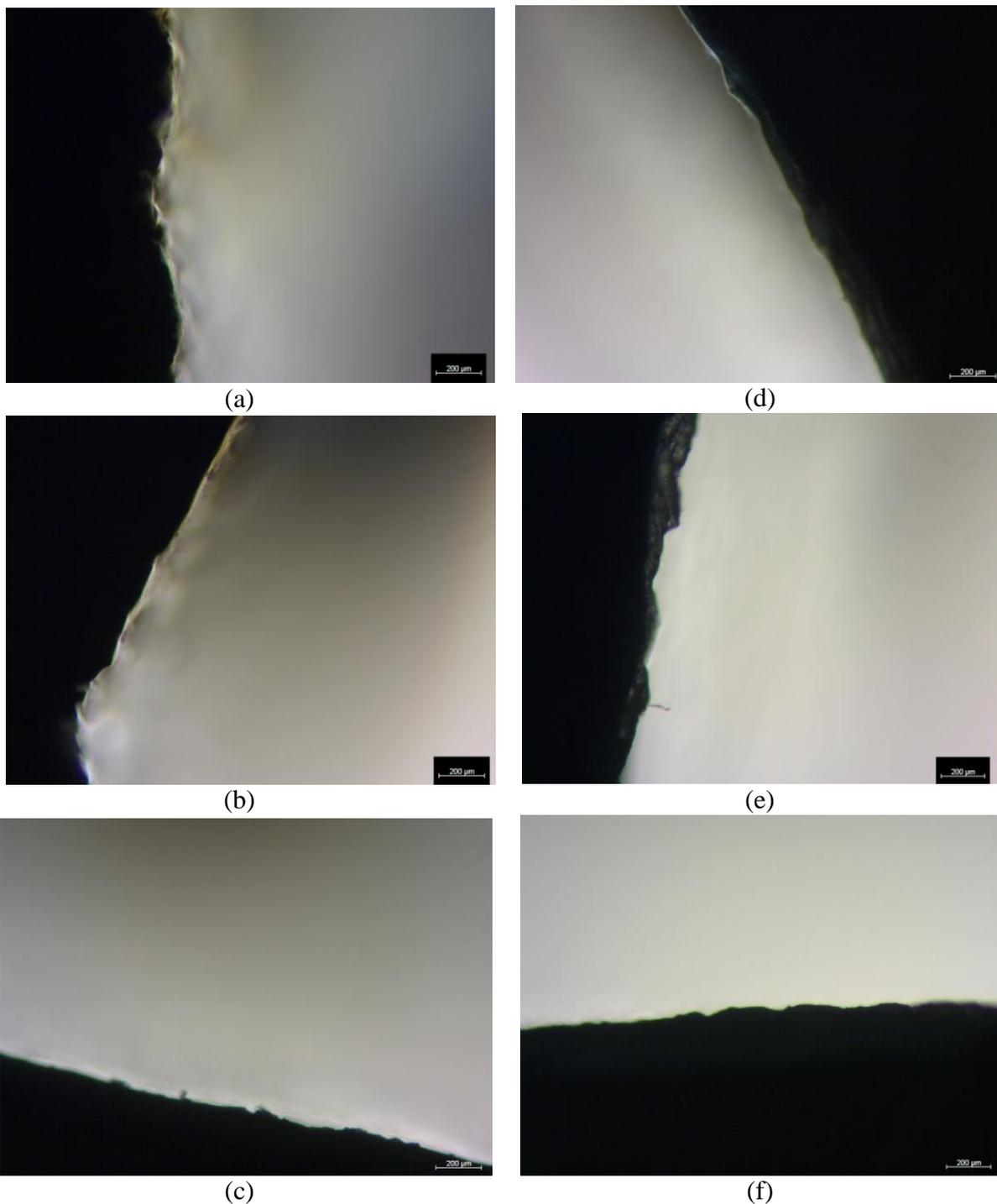


Figura 3 – Registros fotográficos: (a), (b) e (c) amostras selecionadas referentes ao Fabricante 1; (d), (e) e (f) amostras selecionadas referentes ao Fabricante 2.

Neste sentido, é válida a ampliação deste estudo para outras espécies de Polietileno, com diâmetros variáveis, e fabricantes distintos. A Tabela 3 expõe uma síntese estatística das rugosidades verificadas para os tubos de material reciclados em PEBD. A Figura 4 demonstra alguns dos registros fotográficos empregados para a obtenção das magnitudes envolvidas na caracterização das rugosidades.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As rugosidades dos tubos reciclados das amostras selecionadas foram verificadas, obtendo valores médios de 0,0090 e 0,0084 (mm), para o Fabricante 1 e Fabricante 2, respectivamente. As magnitudes determinadas na pesquisa compreendem as faixas de rugosidades consultadas na literatura.

Recomenda-se a extensão deste estudo para outros tipos de resinas plásticas, diâmetros e fabricantes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMPOS, A. L. B. *et al.* (2003). Estudo de Rugosidade Hidráulica de Tubos Polietileno. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - ABRH, Bento Gonçalves-RS, Nov. 2013.

FACCIO, I. (2002). Investigações sobre o acabamento superficial de usinagens com altíssima velocidade de corte. Dissertação de Mestrado, Publicação EPUSP, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 126p.

MESQUITA, F. A. (2010). Modificação das propriedades do polietileno de alta densidade por diferentes condições de extrusão. Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Universidade de São Paulo.

KAMAND, F.Z. (1988). Hydraulics friction factors for pipe flow. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 114(2), pp. 311-323.

PORTO, R.M. (2006). Hidráulica básica. EESC/USP, São Carlos – SP, 540p.

SARZEDAS, G. L. (2009). Planejamento para a substituição de tubulações em sistemas de abastecimento de água. Aplicação na rede de distribuição de água da Região Metropolitana de São Paulo. Dissertação. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.