

COMPARATIVO DE DESEMPENHO E VIABILIDADE ECONÔMICA ENTRE TUBULAÇÕES DE PEAD E CONCRETO PARA SISTEMAS DE DRENAGEM PLUVIAL – ESTUDO DE CASO

Guilherme Matos Florêncio (1), Nestor Back (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1) guilhermemf@unescc.net, (2) nrbk@unescc.net

RESUMO

Recomendado para obras de canalização de esgoto sanitário e drenagem pluvial devido as suas excelentes características químicas e mecânicas, os tubos de Polietileno de alta densidade suportam compressões diametrais elevadas e deformações de até 3,0% em diâmetro, daí vem a sua classificação como tubo flexível. Devido a sua forma corrugada na parte externa, seu processo de fabricação aliando elevado controle de qualidade e maquinário tecnologia avançada estes tubos podem ser enterrados a grandes profundidades quando comparados aos tubos de concreto e apresentam vida útil de até 75 anos, dispensado custos com manutenção após sua instalação. Neste trabalho foi proposto o dimensionamento de um trecho de rede de drenagem utilizando os tubos de PEAD em comparação com tubos de concreto armado. Foi obtida redução nos diâmetros na maioria dos trechos analisados, devido ao seu baixo coeficiente de rugosidade. Quando analisados economicamente o custo de aquisição e instalação deste tipo de tubulação apresentou valores 10% maiores que tubos de concreto, porém com uma redução do custo de mão de obra em 40% devido a facilidade de instalação e manuseio do mesmo.

Palavras chave: Alta densidade, Drenagem pluvial, Dimensionamento, PEAD.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Tucci (2014), atualmente 75% da população brasileira reside em áreas urbanas, sendo afetada por problemas sérios como enchentes, produção de sedimentos e falta de qualidade de água em grande parte das cidades brasileiras. Ao projetar o sistema de drenagem urbana de uma determinada região devem ser consideradas duas categorias de tubulação a serem escolhidas, sendo diferenciadas, basicamente, pela sua capacidade de deformação ao serem submetidas a cargas de compressão diametral sem que apresentem fissuras prejudiciais a sua estrutura (CHAMA NETO, 2003). Quando submetidos a esforços de compressão diametral os tubos rígidos podem sofrer deformações de até 0,1%

no seu diâmetro, enquanto tubos flexíveis podem atingir até 3,0% (CHAMA NETO, 2003). As características de cada tipo de tubulação dependerão do material e método de fabricação da mesma.

Neste trabalho, será redimensionado um trecho do sistema de drenagem urbana, o qual foi previamente executado com tubos rígidos de concreto, em uma determinada região de Araranguá-SC. O novo dimensionamento será feito adotando tubos flexíveis de Polietileno de Alta Densidade, de modo a obter redução dos diâmetros utilizados, aliado a maior eficiência do sistema para escoamento de águas pluviais e reduzindo a incidência de alagamentos ou cheias, recorrentes na região escolhida.

Segundo Kanaflex (2016), a confecção de tubos de Polietileno de Alta Densidade ou PEAD para uso na área de drenagem urbana se iniciou na década de 50. Desde então, foram realizados diversos testes, apresentando resultados significativos quanto à sua durabilidade, sendo capazes de resistir a grandes alturas de aterramento quando comparados aos tubos de concreto, utilizados em larga escala nas redes de águas pluviais quanto em redes de esgotos sanitários no Brasil.

Por ser um polímero desenvolvido com alta tecnologia e apresentar maior controle de qualidade durante sua fabricação, este tipo de tubulação possui uma vida útil de 75 anos, dependendo do fabricante (Kanaflex, 2016). Considerando menores gastos com manutenção e substituição de peças, os tubos de PEAD podem resultar em uma economia aos cofres públicos a longo prazo.

De acordo com Chama Neto (2004), ao fazer o dimensionamento do sistema de drenagem, devem-se levar em conta fatores técnicos como a capacidade de carga suportada pelos dois tipos de tubos e a necessidade de maior qualidade na compactação do solo sob a tubulação, visto que quando se utilizam tubos flexíveis, sua capacidade de carga está diretamente relacionada a compacidade do solo que envolverá o tubo, tendo contribuição direta no aumento da capacidade de carga do sistema, enquanto para tubos rígidos, a capacidade de carga se deve diretamente a resistência a compressão do concreto, de onde vêm as classes PA 1, PA 2, PA 3 e PA 4, referentes a tubos em concreto armado e PS 1 e PS 2 para tubos sem armação, ambos para aplicação em sistemas de drenagem pluvial.

Os tubos corrugados de PEAD podem ou não apresentar revestimento interno, sendo os que apresentam nomeados de tubos de parede dupla. Segundo Kanaflex (2016) os tubos de PEAD de parede dupla apresentam valores na faixa de $\eta = 0,010$

para coeficientes de rugosidade de Manning, quando comparados aos tubos de concreto $\eta = 0,013$, resultam em uma redução de 30%, como consequência esperam-se que os diâmetros obtidos na realização do dimensionamento dos mesmos sejam menores, para uma mesma vazão de cálculo do trecho.

Os objetivos específicos deste trabalho são: a) Analisar o projeto do sistema de drenagem urbana já instalado na área delimitada; b) Fazer o dimensionamento da rede, utilizando tubulações de PEAD, de acordo com as instruções obtidas nas referências bibliográficas; c) Realizar a análise de desempenho do novo sistema em comparação com o atual e fazer um comparativo entre os dois sistemas, ressaltando as vantagens e desvantagens do sistema redimensionado, com foco na resolução dos problemas causados pelas cheias na área delimitada. d) Orçar os custos de aquisição e instalação para os dois sistemas e fazer um comparativo apresentando valores para material, mão de obra e custo total da obra.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Apontada a problemática deste trabalho, foi definido o foco de alagamento na rede de drenagem pluvial existente. A seguir parte-se para a delimitação do trecho da rede à ser redimensionado e os respectivos trechos afluentes assim como suas áreas de influência. A partir do Mapa Geral de Tubulações cedido pela Prefeitura Municipal de Araranguá-SC (2016), foi possível seguir o traçado das tubulações existentes juntamente com as curvas de nível do terreno, indicados na Figura 1. Obteve-se assim uma área de aproximadamente 125 ha, englobando parte dos bairros Urussanguinha, Coloninha e Jardim das Avenidas, como pode ser observada na Figura 2.

A drenagem urbana pode ser classificada em dois níveis: macrodrenagem e microdrenagem. Tucci (2001, p. 823) entende que:

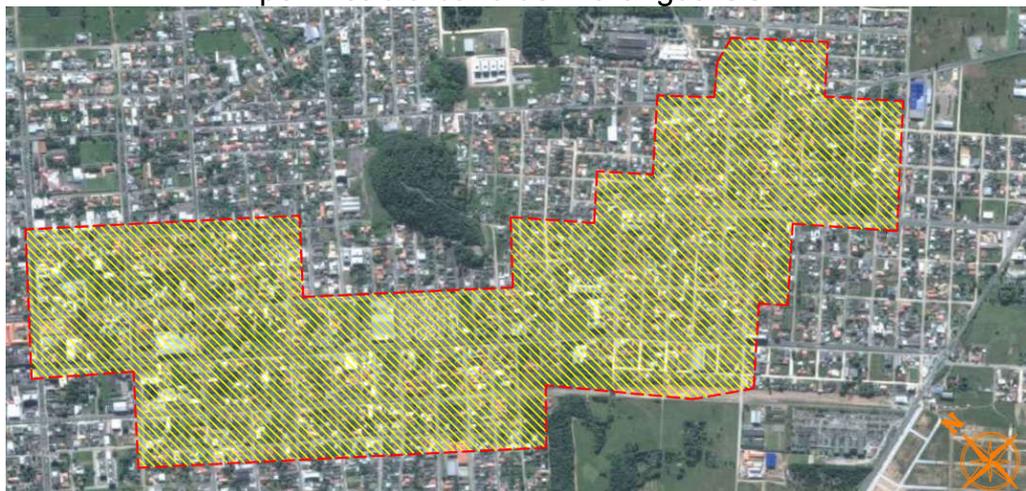
A distinção das duas situações nem sempre é clara, mas pode-se caracterizar como macrodrenagem os escoamentos em fundos de vale que normalmente são bem definidos mesmo que não correspondam a um curso de água perene. Essas bacias possuem área de pelo menos 5 km², dependendo da cidade e do grau de urbanização. O termo microdrenagem aplica-se a áreas onde o escoamento natural não é bem definido e, portanto, acaba sendo determinado pela ocupação do solo. Em uma área urbana, a microdrenagem é essencialmente definida pelo traçado das ruas.

Figura 1 – Traçado das tubulações existentes na sub-bacia.



Fonte: Prefeitura Municipal de Araranguá, 2016.

Figura 2 - Área delimitada pela tubulação existente e cotas de nível do terreno no perímetro urbano de Araranguá-SC.



Fonte: Google Maps.

Uma vez delimitada a área da sub-bacia, conclui-se que o tipo de projeto se enquadra no nível de microdrenagem, parte-se então para determinação do Tempo de retorno ou Tempo de recorrência de projeto. Segundo Rio-Águas (2010) o Tempo de Recorrência ou Período de Retorno é o período de tempo que um evento hidrológico é igualado ou superado pelo menos uma vez. Para aproveitamento de rede existente deve-se fixar $T_r = 5$ anos, como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Tempos de recorrência para obras de micro e macrodrenagem.

Tipo de dispositivo de drenagem	Tempo de recorrência Tr (anos)
Microdrenagem - dispositivos de drenagem superficial, galerias de águas pluviais	10
Aproveitamento de rede existente - microdrenagem	5
Canais de macrodrenagem não revestidos	10
Canais de macrodrenagem revestidos, com verificação para Tr = 50 anos sem considerar borda livre	25

Fonte: Rio-Águas, 2010.

O uso do Método Racional, de acordo Wilken (1978) pode ser aplicado para bacias urbanas ou rurais pequenas com área de até 500 há e tem amplo uso para dimensionamento de galerias de águas pluviais. Este método tem sido utilizado por muitos autores, muito embora alguns tenham sugerido modificações na sua aplicação. A equação proveniente da Teoria Racional desenvolvida por Emil Kuilchilling (1880) *apud* Wilken (1978) é expressa por:

$$Q = C \cdot i \cdot A \quad (1.1)$$

Sendo:

Q = vazão de enchente na seção de drenagem, em m³/s;

C = coeficiente de escoamento superficial da bacia hidrográfica;

i = intensidade média da precipitação sobre toda área da bacia, com duração igual ao tempo de concentração, em m³/s por hectare;

A = área da bacia hidrográfica, em hectares.

Para cálculo da intensidade média da precipitação, faz-se necessário a determinação do tempo de concentração na rede existente. Azevedo Netto e Araújo (1998) consideram que a duração (t) da chuva deve ser igual ou superior ao tempo de concentração (tc) e estimam que o tempo de concentração inicial seja de tci = 5 min. Dados os trechos existentes na rede e com auxílio de planilha dinâmica no MS Excel, obteve-se o tempo de concentração tc = 21,67 min da rede utilizando as equações do Método Cinemático apresentada por Rio-Águas (2010):

$$tp = 16,67 \times \sum (L_i/V_i) \quad (1.2)$$

$$t_c = t_e + t_p \quad (1.3)$$

Onde:

t_p = tempo de percurso, em min;

L_i = comprimento do talvegue, em km;

t_e = tempo de entrada;

t_p = tempo de percurso;

t_c = tempo de concentração;

Visto que o tempo de duração da chuva deve ser superior ou igual ao tempo de concentração, obtêm-se o valor de $t = 25$ min. Back (1989) calcula que os dados os dados pluviométricos na cidade de Araranguá são apresentados com duração de um a sete dias, para períodos de retorno variando de 5 a 100 anos, apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Precipitações Máximas Prováveis em mm com durações variando entre um e sete dias na cidade de Araranguá-SC.

Duração da chuva	Período de Retorno em anos						
	5	10	15	20	25	50	100
Um dia	88,5	102,3	110,1	115,6	119,8	132,7	145,6
Dois dias	122,0	142,7	154,4	162,6	168,9	188,3	207,6
Três dias	145,6	172,2	187,2	197,7	205,8	230,7	255,4
Quatro dias	163,9	195,7	213,6	226,2	235,9	265,7	295,3
Cinco dias	180,7	216,4	236,5	250,6	261,4	294,9	328,0
Seis dias	184,6	220,3	240,4	254,5	265,3	298,8	331,9
Sete dias	189,0	224,8	245	259,2	270,0	303,6	336,9

Fonte: Back, 1989.

Para determinação da intensidade pluviométrica atuante na região, faz-se necessário o uso de Relações de Intensidade-Duração-Frequência. Cetesb (1986) aponta valores médios de relações entre durações de chuva para o Brasil, reduzindo assim, o nível de confiabilidade dos resultados, contudo, Back (2010) apresenta valores de relações de precipitações para o município de Urussanga-SC. Considerando que a distância em linha reta entre Araranguá e Urussanga é de aproximadamente 50km e pelo fato as cidades apresentarem índices pluviométricos similares e altitudes próximas ao nível do mar, Araranguá: +13m e Urussanga: +49m, adota-se para este trabalho as relações de precipitação apresentadas por Back (2010). A Tabela 3 apresenta as relações propostas por Back e Cetesb.

Tabela 3 - Relações entre chuvas de diferentes durações.

<i>Relações entre durações</i>	<i>Back (2010)</i>	<i>Cetesb (1986)</i>
	<i>T = 5 anos</i>	<i>Médio</i>
5 min/30 min	0,32	0,34
10 min/30 min	0,5	0,54
15 min/30 min	0,7	0,7
20 min/30 min	0,82	0,81
25 min/30 min	0,92	0,91
30 min/1 h	0,8	0,74
1 h/24 h	0,4	0,42
6 h/24 h	0,54	0,72
10 h/24 h	0,66	0,82
12 h/24 h	0,68	0,85
24 h/1 dia	1,19	1,14

Fonte: Back, 2010.

Considerando o período de retorno de $T_r = 5$ anos e precipitação máxima de 1 dia, aplicam-se as relações entre durações de chuva:

- $88,5 \text{ mm/h (1dia)} \times 1,19 \text{ (24h/1dia)} \times 0,4 \text{ (1h/24h)} \times 0,8 \text{ (30 min/1h)} \times 0,92 \text{ (25 min x 30 min)} \div 25\text{min}/60\text{min} = 74,4 \text{ mm/h.}$

Para determinação do C - coeficiente de escoamento ou “run off” - é necessário o conhecimento da área de estudo, quanto a sua ocupação ou tipo de terreno. Wilken (1978) sugere a fixação de um único valor para toda a bacia, resultante da média ponderada entre as áreas do terreno e seus respectivos coeficientes de escoamento conforme suas características fisiográficas, sugeridas por Rio-Águas (2010) na Tabela 4. O valor de C pode ser então expresso por:

$$C = \frac{\sum A_n \times C_n}{A_t} \quad (1.4)$$

Sendo:

A_n = Área de influência de cada trecho, em km^2 ;

C_n = Coeficiente de escoamento correspondente a área do trecho, adimensional.

A_t = Área total da sub-bacia, em km^2 ;

Tabela 4. Valores usuais para Coeficiente de escoamento “run off”.

Tipologia da área de drenagem	Coeficiente de escoamento superficial
Áreas Comerciais	0,70 – 0,95
áreas centrais	0,70 – 0,95
áreas de bairros	0,50 – 0,70
Áreas Residenciais	
residenciais isoladas	0,35 – 0,50
unidades múltiplas, separadas	0,40 – 0,60
unidades múltiplas, conjugadas	0,60 – 0,75
áreas com lotes de 2.000 m ² ou maiores	0,30 – 0,45
áreas suburbanas	0,25 – 0,40
áreas com prédios de apartamentos	0,50 – 0,70
Áreas Industriais	
área com ocupação esparsa	0,50 – 0,80
área com ocupação densa	0,60 – 0,90
Superfícies	
asfalto	0,70 – 0,95
concreto	0,80 – 0,95
blocket	0,70 – 0,89
paralelepípedo	0,58 - 0,81
telhado	0,75 – 0,95
solo compactado	0,59 - 0,79

Fonte: Rio-Águas, 2010.

Na área delimitada, foram fixados os valores de $C = 0,5$ para áreas residenciais (quadras) e $C = 0,75$ para áreas de vias públicas (ruas e passeio público). Na etapa inicial do dimensionamento da rede, com o auxílio do projeto das galerias pluviais existentes na área delimitada fornecido pela Prefeitura Municipal de Araranguá. Deste modo, foram coletados dados de curvas de nível do terreno e os diâmetros das galerias existentes para determinação das áreas de influência sobre cada um dos trechos analisados. À partir desta análise, foi possível obter a área de influência acumulada em cada um dos trechos do perfil da galeria em estudo neste trabalho.

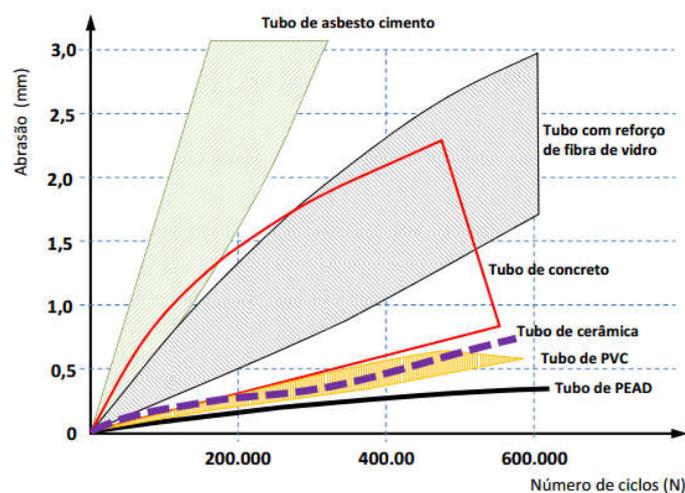
Para obtenção da área de influência de cada trecho que compõe o sistema foi utilizado o método de divisão das quadras partindo da bissetriz de cada vértice das mesmas, obtendo a área aproximada de direcionamento das águas provenientes da chuva, retirada do Mapa do Perímetro Urbano de Araranguá – Galeria Pluvial. Tal procedimento se assemelha ao método de polígonos de Thiessen com as devidas adaptações para aplicação no perímetro urbano.

2.1 DIMENSIONAMENTO UTILIZANDO TUBOS DE PEAD

Com os valores de C , i e A determinados, é possível calcular a Vazão de escoamento (Q) para cada trecho da rede, e conseqüentemente prosseguir com a

determinação dos diâmetros dos tubos. Ao realizar o dimensionamento, deve-se tomar cuidado ao definir as inclinações dos trechos, visto que estas devem se aproximar ao máximo da inclinação do terreno, minimizando assim custos com movimentação de terra. No entanto, deve-se atentar para terrenos que apresentam declividades muito elevadas, de modo a respeitar a velocidade máxima de escoamento em cada trecho, evitando assim o desgaste das paredes internas do tubo por abrasão. Segundo a norma DIN 19534, tubos em polietileno de alta densidade possuem elevada resistência a abrasão, como pode ser constatado no Gráfico 1. Notada esta excelente característica física, Azevedo Netto e Araújo (1998) fundamentam que poderão ser admitidas velocidades de escoamento no trecho de até 6,0 m/s, ao contrário de tubos de concreto, os quais suportam velocidades de até 5,0 m/s. A velocidade mínima $V = 0,75$ m/s apresentada por Rio-Águas (2010) também deve ser considerada, visto que têm influência direta no cálculo do tempo de concentração da chuva, conseqüentemente aumentando o tempo de duração da chuva utilizada para cálculo da intensidade pluviométrica de projeto. Tal aumento poderá levar a um subdimensionamento das galerias pluviais, ocasionando enchentes. Também poderá ocorrer depósito de resíduos no fundo dos tubos, caso a velocidade mínima não seja respeitada, aumentando as chances de entupimento dos tubos.

Gráfico 1. Comparativo entre resistência a abrasão de diferentes materiais.



Fonte: Kanaflex, 2016.

O cálculo das velocidades reais dos trechos segue o método de considerações geométricas proposto por Saatçi (1990) utilizando a Equação de Manning. Uma vez definidas a vazão, declividade e o diâmetro, calcula-se a constante “k” e o ângulo central “ Θ ” e em seguida calcula-se a área molhada “Am”. Pode-se então calcular a velocidade e a profundidade “h”, indicador da relação de enchimento de seção do tubo h/D. Na utilização deste método já está implícito nas equações, o limite para enchimento da seção $h/D \leq 0,85$ como apontam diversos autores. As equações 1.5, 1.6, 1.7, 1.8 e 1.9 são apresentadas a seguir:

$$k = Q \cdot \eta \cdot D^{-\frac{8}{3}} \cdot I^{-\frac{1}{2}} \quad (1.5)$$

Onde:

k = constante;

Q = vazão no trecho, em m³/s;

η = coeficiente de rugosidade de Manning;

D = diâmetro, em m;

I = declividade, em m/m;

$$\Theta = \frac{3\pi}{2} \sqrt{(1 - \sqrt{(1 - \sqrt{\pi k})})} \quad (1.6)$$

Onde:

Θ = ângulo central, em rad;

k = constante;

$$Am = \frac{D^2(\Theta - \text{sen}\Theta)}{8} \quad (1.7)$$

Onde:

Am = área molhada, em m²;

D = diâmetro, em m;

Θ = ângulo central, em rad;

$$V = Q/Am \quad (1.8)$$

Onde:

V = velocidade, em m/s;

Q = vazão no trecho, em m³/s;

Am = Área molhada, em m²;

$$\frac{h}{D} = \frac{1}{2} \left[1 - \cos \left(\frac{\Theta}{2} \right) \right] \quad (1.9)$$

Onde: h/D = relação altura lâmina d'água-diâmetro;

h = profundidade do escoamento, em m;

D = diâmetro, em m;
 Θ = ângulo central, em rad;

A partir das equações acima apresentadas, obteve-se a Tabela 5. Durante o dimensionamento aplica-se o ajuste das declividades assim como são controladas as velocidades dentro dos limites mínimo e máximo, de modo a obter as menores profundidades de escavação possíveis.

Tabela 5. Dimensionamento do trecho estudado utilizando Tubos de PEAD com parede dupla, interna lisa, coeficiente Manning $\eta = 0,010$ e $i = 74,4$ mm/h e $Tr = 5$ anos.

Trecho	Cotas		Dist. (m)	Área Acumul (km ²)	Nº Tubos	Vazão por tubo (m ³ /s)	Vazão Total (m ³ /s)	D (mm)		i adot.	V (m/s)	Degrau (m)
	Mont.	Jus.						Calc.	Adot			
27-26a	32,3	32,0	67,50	0,012	2	0,127	0,255	343	400	0,0044	1,56	
26a-26	32,0	31,7	67,50	0,012	2	0,127	0,255	343	400	0,0044	1,56	
26-25	31,7	31,6	74,00	0,026	2	0,267	0,533	561	800	0,0014	1,19	
25-8	31,6	31,3	74,00	0,066	2	0,686	1,373	654	800	0,0041	2,30	
8-42a	31,3	31,3	78,50	0,094	2	0,968	1,936	734	800	0,0044	2,59	
42a-42	31,3	31,3	78,50	0,094	2	0,968	1,936	734	800	0,0044	2,59	
42-45a	31,3	29,6	80,00	0,218	2	2,248	4,496	827	1000	0,0126	4,72	
45a-45	29,6	27,9	80,00	0,218	2	2,248	4,496	750	1000	0,0213	5,67	
45-47a	27,9	27,3	50,50	0,231	2	2,386	4,771	855	1000	0,0119	4,70	
47a-47	27,3	26,7	50,50	0,231	2	2,386	4,771	855	1000	0,0119	4,70	0,58
47-49a	26,7	25,2	44,00	0,249	2	2,571	5,141	783	1000	0,022	5,97	0,58
49a-49	25,2	23,6	44,00	0,249	2	2,571	5,141	783	1000	0,022	5,97	0,16
49-51a	23,6	22,5	45,00	0,262	2	2,711	5,422	806	1000	0,021	5,97	0,15
51a-51	22,5	21,4	45,00	0,262	2	2,711	5,422	806	1000	0,021	5,97	
51-53a	21,4	20,2	70,00	0,269	2	2,778	5,556	838	1000	0,0179	5,68	0,55
53a-53	20,2	18,9	35,00	0,269	2	2,778	5,556	821	1000	0,02	5,91	0,5
53-55	18,9	17,5	45,00	0,274	2	2,835	5,670	827	1000	0,02	5,95	
55-92	17,5	16,1	75,00	0,281	2	2,905	5,811	846	1000	0,0187	5,84	0,82
92-58a	16,1	14,3	54,50	0,290	2	3,001	6,002	853	1000	0,019	5,93	0,81
58a-58	14,3	12,4	54,50	0,290	2	3,001	6,002	853	1000	0,019	5,93	
58-60a	12,4	11,4	62,50	0,314	2	3,243	6,487	907	1000	0,016	5,69	
60a-60b	11,4	10,4	62,50	0,314	2	3,243	6,487	907	1000	0,016	5,69	
60b-60c	10,4	9,4	62,50	0,314	2	3,243	6,487	907	1000	0,016	5,69	
60c-60	9,4	8,4	62,50	0,314	2	3,243	6,487	907	1000	0,016	5,69	0,13
60-canal	8,4	7,2	65,00	0,381	2	3,937	7,875	970	1000	0,0165	5,92	

Fonte: Do autor, 2016.

Nota-se que durante o dimensionamento, deverá ser respeitado o recobrimento mínimo de 1,00m sobre os tubos, devido à sua instalação sob o eixo das vias de

trânsito (Tucci et al, 2004). Os trechos 47-49a, 49a-49, 51a-51, 53a-53, 53-55, 92-58a, 58a-58 e 60-canal têm declividade menor que a do terreno para manter a velocidade abaixo do limite de 6,0 m/s: Justifica-se assim a aplicação dos degraus nos trechos afluentes.

Os diâmetros adotados seguem os padrões de Kanaflex (2016) para o produto KNTS Super, destinado a obras de drenagem pluvial. Os diâmetros comerciais oferecidos por tal fornecedor são: 0,40m, 0,50m, 0,60m, 0,80m e 1,00m. Em obras de macrodrenagem são acrescentados os tubos de 1,20m a 1,50m, contudo não são recomendados para uso em obras de microdrenagem.

2.2 DIMENSIONAMENTO UTILIZANDO TUBOS DE CONCRETO

Para efeitos de comparação, fez-se necessário o dimensionamento do mesmo trecho adotando tubos de concreto. Apesar de rede de drenagem existente ser composta de tubos de concreto, pouco se conheciam os dados que nortearam o dimensionamento da rede de drenagem existente, dificultando a comparação entre os dois tipos de tubulações de drenagem pluvial. Neste dimensionamento, a principal divergência de projeto baseia-se nos diferentes coeficientes de rugosidade de Manning, sendo $\eta = 0,013$ para tubos de concreto (CETESB, 1986), apresentando um acréscimo de 30% comparado ao tubo de PEAD com $\eta = 0,010$. A Tabela 6 detalha o dimensionamento dos trechos utilizando tubos de concreto.

Tabela 6. Dimensionamento do trecho estudado utilizando Tubos de Concreto com coeficiente Manning $\eta = 0,013$, $i = 74,4$ mm/h e $Tr = 5$ anos.

Trecho	Cotas		Dist. (m)	Área Acumul (km ²)	Nº Tubos	Vazão por tubo (m ³ /s)	Vazão Total (m ³ /s)	D (mm)		i adot.	V (m/s)	Degrau (m)
	Mont.	Jus.						Calc.	Adot			
27-26a	32,30	32,00	67,50	0,0123	2	0,127	0,255	378	400	0,0044	1,28	
26a-26	32,00	31,70	67,50	0,0123	2	0,127	0,255	378	400	0,0044	1,28	
26-25	31,70	31,60	74,00	0,0258	2	0,267	0,533	619	800	0,0014	0,99	
25-8	31,60	31,30	74,00	0,0664	2	0,686	1,373	722	800	0,0041	1,90	
8-42a	31,30	31,30	78,50	0,0937	2	0,968	1,936	979	1000	0,0016	1,40	
42a-42	31,30	31,30	78,50	0,0937	2	0,968	1,936	979	1000	0,0016	1,40	
42-45a	31,30	29,60	80,00	0,2175	2	2,248	4,496	853	1000	0,0180	4,44	
45a-45	29,60	27,90	80,00	0,2175	2	2,248	4,496	827	1000	0,0213	4,72	
45-47a	27,90	27,30	50,50	0,2309	2	2,386	4,771	943	1000	0,0119	3,85	
47a-47	27,30	26,70	50,50	0,2309	2	2,386	4,771	943	1000	0,0119	3,85	0,58
47-49a	26,70	25,15	44,00	0,2488	2	2,571	5,141	864	1000	0,0220	4,96	0,59

49a-49	25,15	23,60	44,00	0,2488	2	2,571	5,141	864	1000	0,0220	4,96	0,15
49-51a	23,60	22,50	45,00	0,2624	2	2,711	5,422	889	1000	0,0210	4,95	0,16
51a-51	22,50	21,40	45,00	0,2624	2	2,711	5,422	889	1000	0,0210	4,95	
51-53a	21,40	20,15	70,00	0,2689	2	2,778	5,556	925	1000	0,0179	4,68	0,51
53a-53	20,15	18,90	35,00	0,2689	2	2,778	5,556	897	1000	0,0210	4,98	0,46
53-55	18,90	17,50	45,00	0,2744	2	2,835	5,670	904	1000	0,0210	5,00	
55-92	17,50	16,10	75,00	0,2812	2	2,905	5,811	933	1000	0,0187	4,80	0,76
92-58a	16,10	14,25	54,50	0,2904	2	3,001	6,002	932	1000	0,0200	4,97	0,76
58a-58	14,25	12,40	54,50	0,2904	2	3,001	6,002	932	1000	0,0200	4,97	
58-60a	12,40	11,40	62,50	0,3139	3	2,162	6,487	860	1000	0,0160	4,21	
60a-60b	11,40	10,40	62,50	0,3139	3	2,162	6,487	860	1000	0,0160	4,21	
60b-60c	10,40	9,40	62,50	0,3139	3	2,162	6,487	860	1000	0,0160	4,21	
60c-60	9,40	8,40	62,50	0,3139	3	2,162	6,487	860	1000	0,0160	4,21	0,12
60-canal	8,40	7,20	65,00	0,3810	3	2,625	7,875	919	1000	0,0165	4,48	

Fonte: Do autor, 2016.

O comparativo entre os dimensionamentos utilizando tubos em PEAD e tubos em concreto será exposto no capítulo Resultados e Discussões.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

No dimensionamento do trecho da rede utilizando tubos de PEAD, foram utilizados no máximo 2 tubos por seção, iniciando com 1 tubo de \varnothing 400 mm e chegando no canal com 2 tubos de \varnothing 1000 mm. No dimensionamento com tubos de concreto, obteve-se no início do trecho 1 tubo de \varnothing 400 mm e chegando no canal com 3 tubos de \varnothing 1000 mm. Sendo assim, esta provada a eficiência superior dos Tubos de PEAD quando utilizado o Método Racional para dimensionamento, implicando na redução dos diâmetros adotados. Esta melhora na eficiência de escoamento se deve principalmente ao baixo coeficiente de rugosidade comparado a outros materiais existentes no mercado. A comparação entre as extensões de tubos projetados para os dois materiais é apresentado na Tabela 7.

Tabela 7. Comparação entre o comprimento total dos tubos.

\varnothing (mm)	Extensão dos tubos (m)	
	PEAD	Concreto
400	270	270
800	610	296
1000	2176	2805

Fonte: Do autor, 2016.

Maiores extensões de tubulação resultam em maiores volumes de corte, aterro e bota-fora, implicando gastos adicionais com mão de obra e equipamentos de movimentação de terra. Apresentam-se na Tabela 8 os custos com escavação utilizando tubos de PEAD enquanto na Tabela 9 são apontados os custos com escavação de tubos em concreto.

3.1 COMPARATIVO ORÇAMENTÁRIO

Para composição dos custos é utilizada a base de dados de Sinapi (2016) com emissão no dia 15/10/2016.

Tabela 8. Custos com movimentação de terra utilizando tubos de PEAD.

Diâmetro (mm)	D ext (mm)	Ext. (m)	Larg. (m)	Á. Tubo (m ²)	Altura (m)	Volume Escavação (m ³)	Volume de Bota-Fora (m ³)	Reaterro (m ³)
400	465	270,00	0,90	0,17	1,84	447,12	45,85	401,27
800	902	610,00	1,40	0,64	2,03	1.733,62	389,79	1.343,83
1000	1142	2.176,00	1,60	1,02	2,15	7.485,44	2.228,85	5.256,59
Volumes totais						9.666,18	2.664,49	7.001,69
Custo/m³						R\$ 15,05	R\$ 1,07	R\$ 12,61
Custo Total						R\$ 145.476,01	R\$ 2.851,01	R\$ 88.291,25
Custo Total com Movimentação de Terra								R\$ 236.618,17

Fonte: Do autor, 2016.

Tabela 9. Custos com movimentação de terra utilizando tubos de concreto.

Diâmetro (mm)	D ext (mm)	Ext. (m)	Larg. (m)	Á. Tubo (m ²)	Altura (m)	Volume Escavação (m ³)	Volume de Bota-Fora (m ³)	Reaterro (m ³)
400	480	270,00	0,90	0,18	1,84	447,12	48,06	398,26
800	930	296,00	1,40	0,68	2,02	837,09	201,07	636,02
1000	1200	2.805,00	1,60	1,13	2,20	9.873,60	3.172,38	6.701,22
Volumes totais						11.157,81	3.422,31	7.735,50
Custo/m³						R\$ 15,05	R\$ 1,07	R\$ 12,61
Custo Total						R\$ 167.925,00	R\$ 3.662,87	R\$ 97.544,60
Custo Total com Movimentação de Terra								R\$ 269.132,00

Fonte: Do autor, 2016.

De acordo com as Tabelas acima expostas, constata-se um custo adicional de maquinário no valor de R\$ 32.513,83 quando instaladas as tubulações em concreto. A partir das composições de Sinapi (2016), realiza-se o orçamento do fornecimento instalação dois sistemas. Visto que nas composições atualizadas de Sinapi (2016) não constam tubulações em PEAD para drenagem pluvial, para efeitos de orçamento com âmbito acadêmico, os tubos de DN 400 e DN 800 são representados respectivamente pelos tubos de DN 450 e DN 750 para instalação de redes de esgoto. Nas Tabelas 10 e 11, estão apresentados os cálculos para fornecimento e assentamento das tubulações com DN 1000 mm para os dois materiais propostos.

Tabela 10. Composição do custo para fornecimento e assentamento de tubos de PEAD com DN 1000 mm.

Código/Seq	Descrição da Composição		Unidade	
03.ASTU.ESGT.0 51/01	TUBO DE PEAD CORRUGADO DE DUPLA PAREDE PARA REDE COLETORA DE ESGTO, DN 1000, JUNTA ELÁSTICA INTEGRADA, INSTALADO EM LOCAL COM NÍVEL ALTO DE INTERFERÊNCIAS - FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO.		M	
Código SIPC				
94895				
Vigência: 06/15		Última atualização: 07/2016		
COMPOSIÇÃO				
Item	Código	Descrição	Unidade	Coeficiente
CONSUMO	5631	ESCAVADEIRA HIDRÁULICA SOBRE ESTEIRAS, CAÇAMBA 0,80 M3, PESO OPERACIONAL 17 T, POTENCIA BRUTA 111 HP - CHP DIURNO. AF_06/2014	CHP	0,104
CONSUMO	5632	ESCAVADEIRA HIDRÁULICA SOBRE ESTEIRAS, CAÇAMBA 0,80 M3, PESO OPERACIONAL 17 T, POTENCIA BRUTA 111 HP - CHI DIURNO. AF_06/2014	CHI	0,0646
CONSUMO	88246	ASSENTADOR DE TUBOS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,3208
CONSUMO	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,3208
INSUMO	41785	TUBO CORRUGADO PEAD, PAREDE DUPLA, INTERNA LISA, JEI, DN/DI *1000* MM, PARA SANEAMENTO ESGOTO	M	1,05
INSUMO	20078	PASTA LUBRIFICANTE PARA USO EM TUBOS DE PVC COM ANEL DE BORRACHA (POTE DE 400 G)	KG	0,2083
			Extensão em M	2176,00
			Custo/M	R\$ 910,24

Custo M.O.	R\$ 1.604.748,75
Custo Material	R\$ 2.492.292,46
Custo Total	R\$ 4.097.041,21

Fonte: Do autor, 2016.

Tabela 11. Composição do custo para fornecimento e assentamento de tubos de concreto com DN 1000 mm.

Código/Seq	Descrição da Composição	Unidade
03.ASTU.CONC.012/01	TUBO DE CONCRETO PARA REDES COLETORAS DE ÁGUAS PLUVIAIS, DIÂMETRO DE 400 MM, JUNTA RÍGIDA, INSTALADO EM LOCAL COM ALTO NÍVEL DE INTERFERÊNCIAS - FORNECIMENTO E ASSENTAMENTO. AF_12/2015	M
Código SIPCI		
92219		
Vigência: 06/15	Última atualização: 06/2015	

COMPOSIÇÃO

Item	Código	Descrição	Unidade	Coefficiente
CONSUMO	88277	MONTADOR (TUBO ACO/EQUIPAMENTOS) COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,947
CONSUMO	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	1,893
CONSUMO	5631	ESCAVADEIRA HIDRÁULICA (CAPACIDADE DA CAÇAMBA: 0,8 M³ / POTÊNCIA: 105 HP) - CHP	CHP	0,201
CONSUMO	5632	ESCAVADEIRA HIDRÁULICA (CAPACIDADE DA CAÇAMBA: 0,8 M³ / POTÊNCIA: 105 HP) - CHI	CHI	0,424
CONSUMO	88629	ARGAMASSA TRAÇO 1:3 (CIMENTO E AREIA MÉDIA), PREPARO MANUAL. AF_08/2014	M³	0,028
INSUMO	7753	TUBO DE CONCRETO ARMADO, CLASSE PA-1, PB, DN 400 MM, PARA ÁGUAS PLUVIAIS	M³	1,03

Extensão em M	2805,00
Custo/M	R\$ 298,21
Custo M.O.	R\$ 2.921.821,32
Custo Material	R\$ 861.573,42
Custo Total	R\$ 3.783.394,74

Fonte: Do autor, 2016.

Das tabelas acima constata-se que o fornecimento e assentamento de tubos de PEAD se apresenta mais caro do que para tubos de concreto. Somando-se os orçamentos para os três diâmetros utilizados em projeto é obtida a Tabela 12.

Tabela 12. Comparação de custos para instalação de sistemas de microdrenagem em Tubos de PEAD e Tubos de concreto.

DN	PEAD		Concreto	
	Material	Mão de obra	Material	Mão de obra
400*	R\$ 58.271,49	R\$ 10.213,39	R\$ 26.495,88	R\$ 39.024,94
800*	R\$ 423.760,84	R\$ 211.990,56	R\$ 254.473,57	R\$ 186.552,41
1000	R\$ 2.492.292,46	R\$ 1.604.748,75	R\$ 861.573,42	R\$ 2.921.821,32
Mov. Terra		R\$ 236.618,17		R\$ 269.132,00
Subtotal	R\$ 2.974.324,79	R\$ 2.063.570,87	R\$ 1.142.542,87	R\$ 3.416.530,67
Total	R\$ 5.037.895,66		R\$ 4.559.073,54	

Fonte: Do autor, 2016.

4. CONCLUSÕES

A utilização de tubulações em Polietileno de Alta Densidade de dupla parede, interior liso, apresentou desempenho de escoamento superior as tubulações em concreto, principalmente por seu baixo valor de coeficiente de rugosidade de Manning. A resistência à abrasão apresenta vantagens quanto ao aumento da velocidade de escoamento aceitável dentro dos tubos. Tais características contribuíram para redução dos diâmetros dos trechos calculados, como esperado.

Pelo fato de este tipo de tubulação ser fabricado com alto controle de qualidade, faz-se necessário a utilização de maquinário de ponta na sua produção, daí se originam os preços altos de aquisição dos tubos em PEAD. Quando analisados os custos totais para aquisição e instalação das tubulações, os tubos de PEAD apresentam um investimento extra de 10% quando comparados aos custos de aquisição e instalação dos tubos de concreto, este acréscimo se deve exclusivamente pelo custo elevado de aquisição dos tubos. Contudo, tal investimento se justifica quando levadas em conta as propriedades químicas e mecânicas dos tubos em PEAD, apresentando vida útil de até 75 anos (Kanaflex, 2016) e manutenção quase nula, visto ser um produto industrializado e extremamente resistente a esforços provenientes do tráfego. De outro lado, os tubos de concreto dificilmente apresentam controle de qualidade durante sua produção, justificando as inúmeras obras públicas para manutenção e reparo das redes de tubos de concreto existentes na maioria das cidades brasileiras. Quando analisados os custos com mão de obra para instalação e movimentos de terra, a tubulação de PEAD se mostrou extremamente benéfica, apresentando uma redução de aproximadamente 40% no custo com equipamentos

e mão de obra. Tal fato se justifica pela rapidez e facilidade de instalação dos tubos, geralmente de 6 metros. Espera-se que o custo de produção de tubulações em PEAD venha a cair nos próximos anos, devido à demanda de velocidade em obras públicas.

Como recomendação para futuras pesquisas, sugere-se o dimensionamento de uma bacia com rede de drenagem pluvial inexistente, para análise do tempo de concentração reduzido quando utilizados os tubos em PEAD, também aconselha-se a elaboração de um orçamento mais detalhado para este tipo de obra, visto que o SINAPI apresenta valores médios para Santa Catarina, podendo existir fornecedores com valores mais acessíveis, viabilizando a utilização dos Tubos de PEAD para obras de microdrenagem e macrodrenagem.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO NETTO, J. M., ARAÚJO, R., **Manual de Hidráulica**, Ed. Edgard Blucher Ltda, 8ª Edição, São Paulo, 1998. 670p.

BACK, A. J., **Análise de características pluviométricas para o litoral de Santa Catarina e simulação de sistemas de drenagem**. Minas Gerais: UFV, 1990. 95 p.

BACK, A. J., **Equação de chuvas intensas para a região de Urussanga**, Ver. Technol. Ambiente, Criciúma, v. 3, n. 2, p. 31-36, jul/dez 1997.

CHAMA NETO, P. J., RELVAS, F. J., **Avaliação Comparativa de Desempenho entre Tubos Rígidos e Flexíveis para Utilização em Obras de Drenagem de Águas Pluviais**, Boletim Técnico ABTC / ABCP, São Paulo, 2003. 34p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL-CETESB, **Drenagem Urbana: manual de projeto**. 3. Ed. São Paulo, 1986. 452p.

KANAFLEX, 2016. **KNTS Super – Tubo corrugado de grande diâmetro**, 3ª Edição. Disponível em :< http://kanaflex.com.br/site/knts_super> Acesso em: 08/11/2016.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ARARANGUÁ-SC, **Mapa Geral de Tubulações**, SC:
PMA. 2016.

RIO-ÁGUA - PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO, **Instruções técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana**, 1ª versão, Rio de Janeiro, 2010.
60p.

SAATÇI, A, **Velocity and Depth of Flow Calculations in Partially Filled Pipes**. ASCE Journal of Environmental Engineering, vol. 116, n. 6, p. 1202-1208, nov/dec. 1990.

SINAPI – SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL, **Tabelas de composição de custos**, Florianópolis: C.E.F.,

2016. Data de emissão: 15/10/2016. Disponível em :< <http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>> Acesso em: 08/11/2016.

TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia ciência e aplicação**. 3 ed. Porto Alegre, RS: Editora da UFRGS/ABRH, 2004. 943p.

WILKEN, P. S., **Engenharia de drenagem superficial**. São Paulo: CETESB, 1978.
477p.