

RISCO SOCIAL E DUTOS

José Carlos de Moura Xavier, Leopoldine Solange Montiel Frioni,
Marcos Tadeu Seriacopi, Vivienne Maria Monteiro Minniti
CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, Brasil

RESUMO

Decisões baseadas em risco suportadas por Avaliações Quantitativas de Risco (AQRs) são praticadas desde a década de 1970 pela indústria, por exemplo, em novos projetos, e por governos em autorizações para ocupação do solo e de novos projetos. O desenvolvimento de métodos para estimar risco e de critérios de tolerabilidade privilegiou as instalações pontuais como refinarias, terminais e plantas químicas. Já para dutos, há limitada literatura explorando a decisão, possivelmente explicada pela característica espacial do duto e a necessidade de adaptações da estimativa do risco e da sua avaliação decorrentes dessa característica. Este artigo apresenta os princípios do critério de tolerabilidade de risco social para dutos presente na norma CETESB P4.261. Também apresenta o método e resultados da aplicação do critério na tomada de decisão do Órgão Ambiental no período 2015-maio 2019. A norma é adotada no licenciamento ambiental de empreendimentos potencialmente geradores de grandes acidentes conduzido pela CETESB, órgão ambiental do estado de São Paulo. Nesse período, a CETESB analisou 104 AQRs, sendo 87 de dutos novos e 17 de loteamentos residenciais ao lado de faixas de dutos. Todas as AQRs de dutos de polietileno (67) apresentaram curvas F-N na região de risco tolerável. Para os dutos de aço carbono, uma das 33 AQRs apresentou curva F-N na região de risco a ser reduzido. Dos 17 loteamentos, dois situaram-se na região de intolerabilidade, sete na região de risco a ser reduzido e oito na região de tolerabilidade.

1. INTRODUÇÃO

Decisões baseadas em risco suportadas por estudos que estimam e avaliam quantitativamente risco são praticadas desde a década de 1970, pela indústria, por exemplo, em novos projetos, e por governos em autorizações para ocupação do solo e de novos projetos.

A Avaliação Quantitativa de Risco (AQR), tipo de estudo que apoia essas decisões, está presente na literatura técnica e científica, sendo investigada sob diversos olhares. Há aqueles que buscam aperfeiçoar as técnicas de identificação de perigos, de forma a estabelecer hipóteses e cenários acidentais mais condizentes com o perigo em análise. Outros olhares exploram as etapas quantitativas, onde a perda de contenção de tanques, vasos, tubulações e outros, é abordada por meio de modelos determinísticos (efeitos físicos) e probabilísticos (frequência de ocorrência). Há ainda investigação sobre formas de expressar risco e critérios que permitam abordar sua tolerabilidade.

Os avanços sobre essa investigação privilegiaram as instalações pontuais como refinarias, terminais e plantas químicas. Já para dutos, há limitada literatura explorando a decisão, possivelmente explicada pela característica espacial do duto – longilíneo, chegando a quilômetros de extensão e, portanto, expondo populações distintas aos seus perigos – e a necessidade de adaptações da estimativa do risco e da sua avaliação decorrentes dessa característica.

Essas adaptações passam pela definição da extensão do duto a ser considerada de forma que a população possivelmente afetada pelos cenários acidentais seja contemplada apropriadamente na avaliação do risco.

A extensão do duto está presente na aplicação dos conceitos *interaction length* – comprimento de duto do qual se esperam efeitos danosos ou fatalidade para o ser humano [1] –, *fatal length* – comprimento do duto associado à probabilidade de fatalidade humana em local específico [2,3], e *cumulative fatal length* – comprimento de duto que resulta em N ou mais fatalidades [2]. O conceito *interaction length*, adotado por alguns guias para elaboração de AQR, mostrou valores entre 100m e 1600m [4].

Métodos para elaboração da AQR afeitos a dutos foram investigados por [4]. Os autores constataram que os métodos são diferentes entre países, além de pouco detalhados. Também constataram diferenças entre

os critérios de tolerabilidade. Alertaram para a necessidade de método e critério serem suficientemente claros de forma a assegurar decisões consistentes.

O risco imposto por dutos tem sido expressado pelos indicadores risco individual (RI) e risco social (RS), característicos nas AQRs de instalações pontuais. As estratégias dos governos do Reino Unido e da Holanda para estimar RI e RS foram mostradas por [1,5], respectivamente, e passaram pelo uso dos softwares MISHAP e SAFETI NL. Os indicadores foram adotados por [2,3] para dutos de transmissão e distribuição (redes urbanas) de gás natural, respectivamente, e por [6] na localização, projeto e custos de dutos transportando dióxido de carbono (CO₂), na Holanda.

Este trabalho propõe conhecer mais da aplicação do indicador risco social para dutos e os requisitos necessários para sua avaliação.

Avaliar o risco social imposto por um duto apresenta desafios: qual a extensão do duto de interesse? Qual a população considerada? É viável utilizar o mesmo critério de tolerabilidade adotado para empreendimentos pontuais como uma base de armazenamento ou uma refinaria?

A extensão do duto adotada para fins de verificação do indicador RS é determinante na estimativa das frequências das hipóteses acidentais, visto que as frequências de falhas de dutos disponíveis em bancos de dados são expressadas em ocorrências/km×ano. A curva F-N, que representa o RS, foi construída para trechos de 1km de extensão no Reino Unido [1] e na Holanda [6].

Populações de interesse distintas, como a futura ou a de indústrias vizinhas, foram consideradas na avaliação do RS, como observaram [4].

A extensão do duto e a população de interesse estão diretamente associadas ao critério de tolerabilidade adotado. Sob a ótica da proteção ao ser humano, pode-se perguntar sobre a pertinência de critérios distintos para avaliar o risco imposto à população por um empreendimento pontual ou um duto. Por exemplo, o critério estabelecido para um empreendimento pontual como uma base de armazenamento de combustíveis se aplica a um duto de transporte de gasolina com 100km de extensão? E se a extensão for 10km? A ideia de sobre qual área (ou seja, sobre qual população ou densidade populacional) se aplica o limite superior estabelecido no critério foi abordada por [7], contemplada em [8] para dutos e aperfeiçoada por [9] para dutos.

No estado de São Paulo, o licenciamento ambiental de empreendimentos potencialmente geradores de grandes acidentes é conduzido pela CETESB¹, órgão ambiental estadual. O licenciamento é apoiado pela norma P4.261 [9], que orienta a tomada de decisão quanto à necessidade de elaboração de Estudo de Análise de Risco (EAR), denominação no estado para a AQR. Entre outros, a norma traz o termo de referência para a elaboração de EAR para dutos acompanhado do critério de tolerabilidade do risco social.

Este artigo apresenta os princípios que nortearam o estabelecimento do critério de tolerabilidade de risco social para dutos presente na norma CETESB P4.261. Também apresenta o método e resultados da sua aplicação na tomada de decisão do Órgão Ambiental no período 2015 a maio 2019.

2. DESCRIÇÃO

A subseção 2.1 apresenta os princípios que suportaram o método de construção do critério de risco social para dutos, objeto da subseção 2.2.

2.1 Princípios

- O critério se aplica a proteção do ser humano quando sujeito a possíveis efeitos físicos decorrentes de emissões acidentais, tipicamente avaliados no contexto da AQR.
- Sendo o ser humano o elemento central no processo de avaliação do risco, os limites de tolerabilidade independem da origem do risco, no contexto da AQR.
- O critério se aplica a empreendimento típico, onde típico diz respeito a sua área e, indiretamente, ao seu perímetro. Os perímetros do empreendimento pontual e do duto são iguais.
- O critério é único, independentemente do empreendimento que impõe risco.

¹ Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, desde 08.5.2009, ou Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental até então.

2.2 Método

Os princípios da subseção 2.1 sustentam o método, notadamente o 2.1 (c), inspirado de [8] e cujo texto é reproduzido a seguir:

“A typical medium-sized COMAH site might typically have a perimeter exposing risk to the public outside the site of 2km, so the equivalent length of pipeline exposing the same risk to the public is 1km. Therefore the same FN risk curves could be applied to 1km of pipeline.” [P.16]

O indicador risco social presente em [9] se aplica a empreendimento pontual típico desde 2003, a partir da vigência da versão inicial da norma P4.261 [10].

Realizou-se levantamento dos perímetros desses empreendimentos cujas AQRs foram analisadas em 2009 e 2010 pela CETESB. Utilizaram-se imagens do Google Earth para a determinação dos perímetros. Também foram considerados os perímetros disponibilizados pela Petróleo Brasileiro S. A. (PETROBRAS) de refinarias, terminais e bases no estado de São Paulo. Não foram consideradas, nesse levantamento, as instalações associadas a dutos, ou seja, estações de entrega, de custódia e de bombeamento ou compressão.

A distribuição dos perímetros foi inicialmente observada em histograma, cujos intervalos derivaram da equação 1, proposta por [11]. Os intervalos podem ser modificados para visualizar a distribuição apropriadamente.

$$k=1+3,3.\log n \quad (1)$$

onde k é o número de intervalos e n é o número de dados.

2.2.1 Distribuição normal

Para testar a aderência dos dados (perímetros) à distribuição normal (modelo probabilístico), adotou-se o procedimento abaixo, baseado na distribuição Qui-Quadrado [12].

- A variável de interesse é a forma da distribuição dos perímetros.
- H_0 : A forma da distribuição é normal.
- H_1 : A forma da distribuição é diferente da normal.
- $\alpha = 0,05$.
- A estatística teste Qui-Quadrado é

$$\chi_0^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2)$$

onde k representa o número de intervalos; O_i é a frequência observada do i -ésimo intervalo; E_i é a frequência esperada do i -ésimo intervalo ($E_i = np_i$); p_i é probabilidade do i -ésimo intervalo.

Se a população segue a distribuição sob hipótese, a equação 2 tem uma distribuição Qui-Quadrado com $k - p - 1$ graus de liberdade, onde p representa o número de parâmetros da distribuição sob hipótese. Rejeita-se H_0 se:

$$\chi_0^2 > \chi_{\alpha, k-p-1}^2 \quad (3)$$

2.2.2 Distribuição Weibull

Se houver evidência suficiente para rejeitar H_0 , verificar a aderência dos dados à distribuição Weibull, biparamétrica. Sua função de distribuição acumulada $F(x)$ é

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\eta}\right)^\beta} \quad (4)$$

A estimação dos parâmetros β e η é feita por método gráfico, disponível em planilha Excel. A equação 5 mostra a estimativa de η , sendo β o coeficiente angular da reta ajustada aos pontos.

$$\eta = e^{-\left(\frac{\text{Coeficiente linear}}{\beta}\right)} \quad (5)$$

Para a escolha do perímetro médio de um empreendimento pontual adotou-se a mediana da distribuição.

3. DISCUSSÃO

Foram identificados 221 empreendimentos pontuais, sendo 186 a partir das AQRs analisadas pela CETESB e 35 informados pela PETROBRAS.

A figura 1(a) apresenta o histograma para os perímetros desses empreendimentos, em nove intervalos (equação 1), com valores que variaram de 126m a 17870m. Dada a concentração dos perímetros nos dois intervalos à esquerda, outros três histogramas com intervalos de 700m, 400m e 200m foram feitos. Estes histogramas estão apresentados nas figuras 1(b), 1(c) e 1(d), respectivamente.

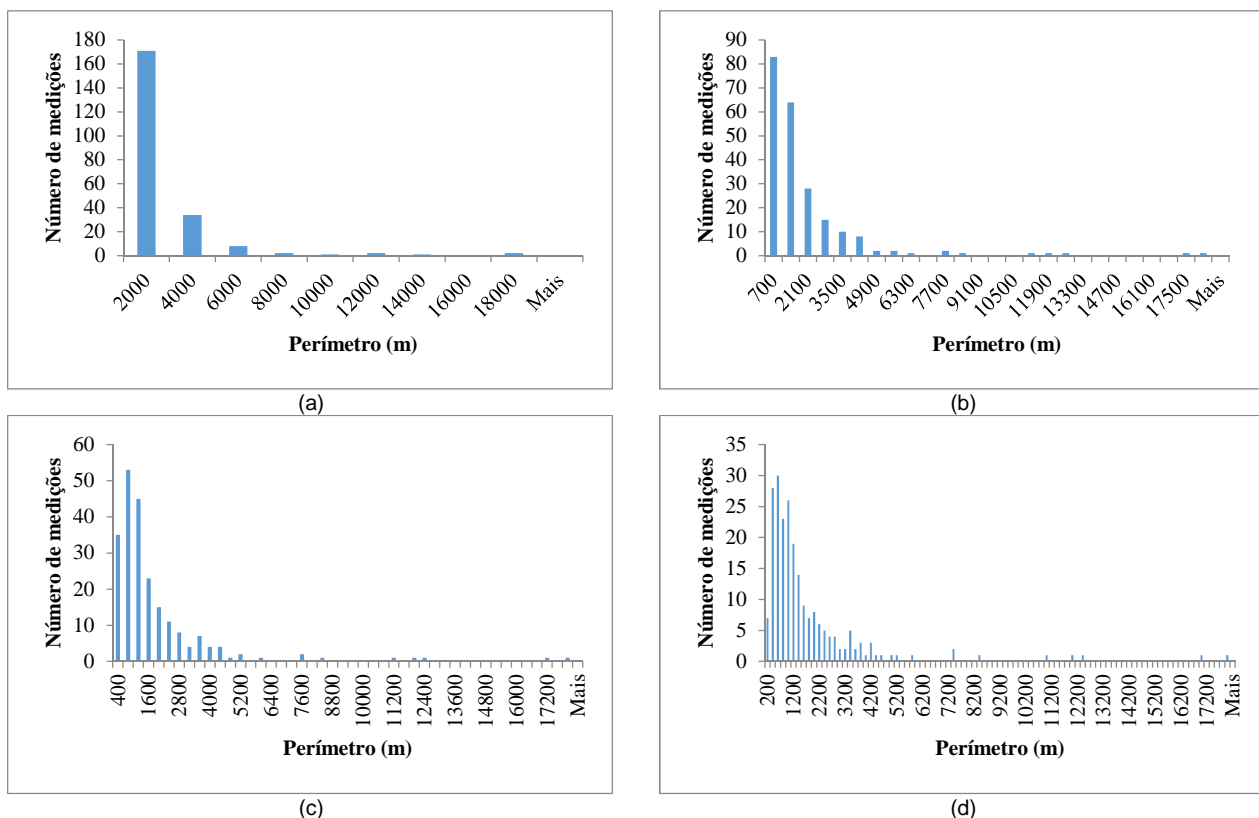


Figura 1 – Histogramas dos perímetros (a) com nove intervalos, (b) em intervalos de 700m, (c) em intervalos de 400m e (d) em intervalos de 200m

A partir da análise dos histogramas, descartaram-se os perímetros menores ou iguais a 200m e maiores ou iguais a 3600m. A figura 2 mostra o histograma para o intervalo (200 e 3600), com $n=193$. A amostra tem média $\bar{x}=1138,6\text{m}$ e desvio padrão $s = 786,1\text{m}$.

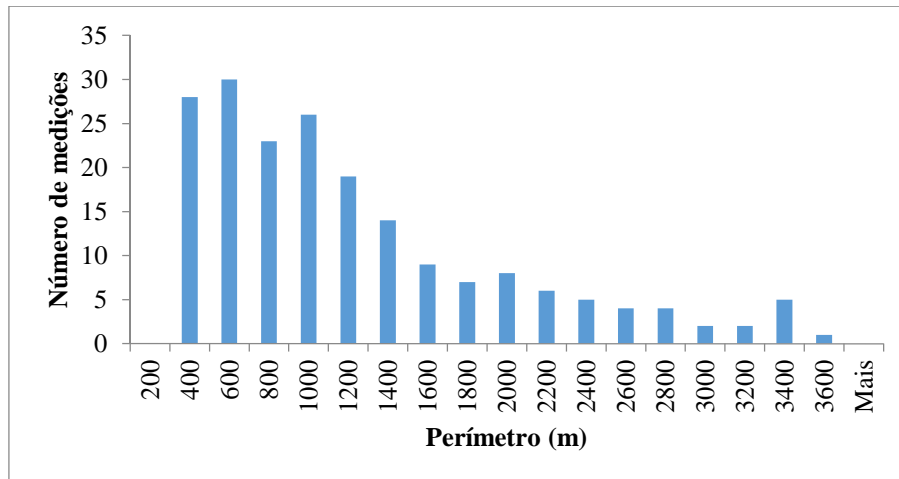


Figura 2 – Distribuição dos perímetros entre 200m e 3600m em intervalos de 200m

3.1 Aderência à distribuição normal

O teste da hipótese de distribuição normal (H_0) para os dados da figura 2 considerou $p = 2$ (distribuição biparamétrica) e $k = 15$ intervalos. A estatística Qui-Quadrado tem $k - p - 1 = 12$ graus de liberdade. Dessa forma, rejeita-se H_0 se:

$$\chi_0^2 > \chi_{0,05;12}^2 = 21,03 \quad [12]$$

Para aplicar a equação 2, os intervalos foram definidos de forma que a probabilidade de cada intervalo fosse idêntica, exceto a do primeiro intervalo, que contemplou número menor de dados, razão pela qual o intervalo foi aumentado.

A tabela 1 apresenta a frequência esperada (E_i) e a frequência observada (O_i) de cada intervalo. Para a distribuição normal padrão, encontrou-se X , variável que delimita os intervalos de interesse, a partir da variável reduzida $Z = \frac{X - \bar{x}}{s}$ e de uma tabela da função distribuição normal padrão acumulada [12].

A quarta coluna da tabela 1 mostra os limites de cada intervalo obtidos a partir das suas frequências esperadas (primeira coluna).

A estatística do teste Qui-Quadrado, equação 2, mostra que

$$\chi_0^2 = \sum_{i=1}^{15} \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} = \frac{(2 - 24,125)^2}{24,125} + \frac{(32 - 12,0625)^2}{12,0625} + \frac{(27 - 12,0625)^2}{12,0625} + \dots + \frac{(20 - 12,0625)^2}{12,0625}$$

$$\chi_0^2 = 100,72$$

Como $\chi_0^2 = 100,72 > \chi_{0,05;12}^2 = 21,03$, há evidência suficiente para rejeitar H_0 . O valor-P para a estatística Qui-Quadrado é aproximadamente 0,010, menor que $\alpha = 0,05$, ratificando a decisão de rejeitar H_0 .

Tabela 1 – Intervalos para testar a forma normal da distribuição dos perímetros

Frequência esperada E_i	Distribuição normal		Intervalo	Frequência observada O_i
	z	$X=z.s+\bar{x}$		
24,125	-1,15	234,6	$x < 234,6$	2
12,0625	-0,885	442,9	$234,6 \leq x < 442,9$	32
12,0625	-0,675	608,0	$442,9 \leq x < 608,0$	27
12,0625	-0,485	757,3	$608,0 \leq x < 757,3$	20
12,0625	-0,32	887,1	$757,3 \leq x < 887,1$	9
12,0625	-0,155	1016,8	$887,1 \leq x < 1016,8$	18
12,0625	0	1138,6	$1016,8 \leq x < 1138,6$	10
12,0625	0,155	1260,4	$1138,6 \leq x < 1260,4$	10
12,0625	0,32	1390,1	$1260,4 \leq x < 1390,1$	12
12,0625	0,485	1519,9	$1390,1 \leq x < 1519,9$	8
12,0625	0,675	1669,2	$1519,9 \leq x < 1669,2$	3
12,0625	0,885	1834,3	$1669,2 \leq x < 1834,3$	6
12,0625	1,15	2042,6	$1834,3 \leq x < 2042,6$	7
12,0625	1,535	2345,4	$2042,6 \leq x < 2345,4$	9
12,0625	∞		$2345,4 \leq x$	20
193				193

3.2 Perímetro equivalente a partir da distribuição Weibull

Visto haver evidência suficiente para rejeitar a hipótese de que os perímetros são distribuídos normalmente, ajustou-se seus valores à distribuição Weibull, biparamétrica, de acordo com o item 2.2.2.

A figura 3 mostra a estimação dos parâmetros β e η . A partir da reta ajustada aos pontos da figura 3, obtém-se $\beta = 1,755$ (coeficiente angular da reta), coeficiente linear = 12,525 e $\eta = 1253,8m$.

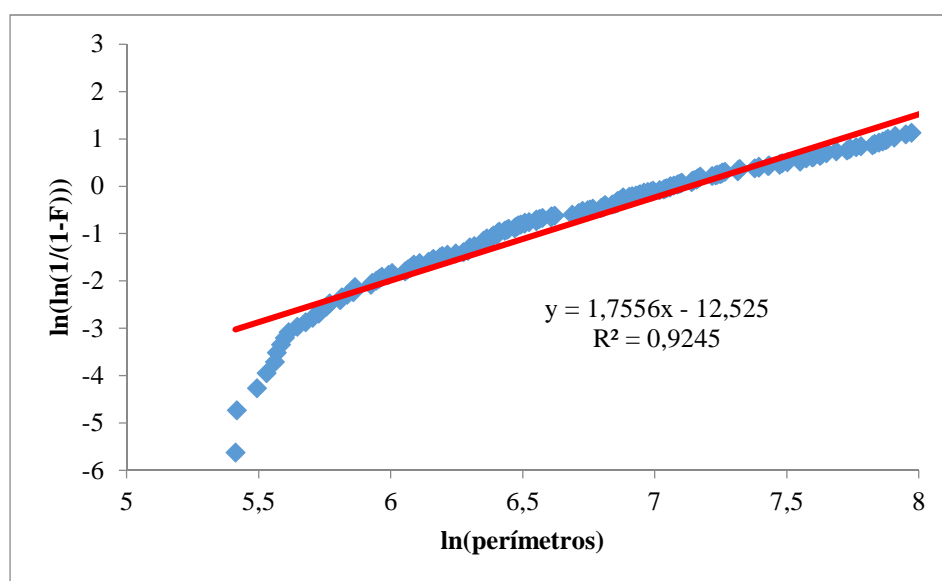


Figura 3 – Determinação dos parâmetros da distribuição Weibull

Com $\beta = 1,755$ e $\eta = 1.253,8\text{m}$, a partir da equação 4 obtém-se

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{1253,8}\right)^{1,755}} \quad (6)$$

Para determinar a mediana da distribuição, impôs-se que $F(x) = 0,5$ e obteve-se $x = 1017,5\text{m}$. Adotou-se 1000m como valor aproximado do perímetro e, desta forma, o valor adotado da extensão do duto equivalente ao empreendimento pontual é 500m, em consonância com o princípio 2.1(c).

3.3 Aplicação do critério no período 2015 - maio 2019

Com a homologação da norma P4.261 [9], o método de cálculo do risco para dutos assim como o critério de tolerabilidade passaram a considerar a extensão de 500m nas AQRs apresentadas durante o licenciamento. Considerando o período entre janeiro de 2015 e maio de 2019, a CETESB analisou 104 AQRs. Deste montante, 87 foram novas instalações dutoviárias e 17 foram projetos de loteamentos residenciais localizados ao lado de faixas de dutos, conforme tabela 2.

Tabela 2 – AQRs analisadas pela CETESB

Ano	Dutos	Loteamentos
2015	25	1
2016	19	9
2017	10	1
2018	24	4
2019*	9	2
TOTAL	87	17

* Até o mês de maio

Quanto ao material dos dutos considerados nas 87 AQRs analisadas, 20 casos referem-se a dutos de aço carbono, 54 correspondem a dutos de polietileno (PE) e 13 casos consideraram dutos com trechos em aço e em PE. Assim, para esta análise, foram considerados 33 dutos de aço carbono e 67 de PE.

A tabela 3 mostra as substâncias transportadas, as respectivas pressões de operação e os tipos de material dos dutos.

Tabela 3 – Quantidade e material dos dutos, tipo de substância transportada e pressão operacional

Material do duto	Substância	Quantidade	Pressão (bar)
Polietileno (PE)	Gás natural	3	4
		64	7
Aço	Etanol	1	38 a 60
	Gás natural	1	75
		20	35
		4	17
		4	7
	Gás natural e condensado	1	45
	Óleo diesel e gasolina	1	7
	Óleo diesel	1	não informada

Em relação ao resultado do indicador de risco RS, todos os dutos de PE encontraram-se na região de risco tolerável. Apesar destes dutos passarem por regiões com alta densidade populacional, o número de fatalidades estimado nas AQRs não é significativo devido às baixas pressões de operação na distribuição do gás natural, mesmo para os casos com diâmetro nominal máximo de 250mm.

Para os dutos de aço carbono, a grande maioria transportou gás natural. Observa-se, entretanto, que independentemente da substância transportada, esses dutos passaram por regiões com baixa densidade populacional, por se tratar principalmente de redes primárias de transmissão. O resultado do indicador de risco RS mostrou que apenas um dos casos se encontrou na região de risco a ser reduzido, sendo proposta a instalação de placas de concreto acima do duto como medida para reduzir a ação de terceiros e consequentemente a frequência de ocorrência de acidentes.

Observa-se que no processo de licenciamento de novos dutos, caso o resultado do risco esteja na região de intolerabilidade, o empreendedor já adota medidas como alteração de traçado, mudança de condições operacionais, mudança de material do duto, entre outras ações antes da apresentação da AQR para a análise do órgão ambiental. Desta forma, nenhuma das AQRs analisadas encontrou-se na região de intolerabilidade.

No caso de loteamento, caso o mesmo seja implantado ao lado de um duto ou de uma faixa de dutos, durante o processo de licenciamento é solicitada uma AQR considerando-se a população futura que estará sujeita ao risco imposto pelo(s) duto(s). Observa-se que nestes casos não é possível aplicar medidas para a redução do risco como as mencionadas anteriormente, uma vez que os dutos já se encontram instalados e em operação. Caso o resultado do risco se encontre na região de intolerabilidade, é necessário revisar o projeto do loteamento.

Dos 17 loteamentos analisados, apenas em dois as curvas F-N situaram-se na região de intolerabilidade, sete na região de risco a ser reduzido e oito na região tolerável.

Um dos casos na região de risco intolerável refere-se à proposta de instalação de 940 unidades habitacionais de interesse social distribuídas em 47 prédios ao lado de uma faixa de servidão constituída de nove dutos que transportam substâncias inflamáveis derivadas do petróleo, tais como gás natural, gás liquefeito de petróleo (GLP), claros, entre outros, conforme figura 4.



Figura 4 – Projeto de loteamento a ser instalado próximo à faixa de dutos

Sua curva F-N é mostrada na figura 5 (a). A proposta de redução do risco consistiu na alteração da construção de prédios para casas unifamiliares, com resultado mostrado na figura 5 (b).

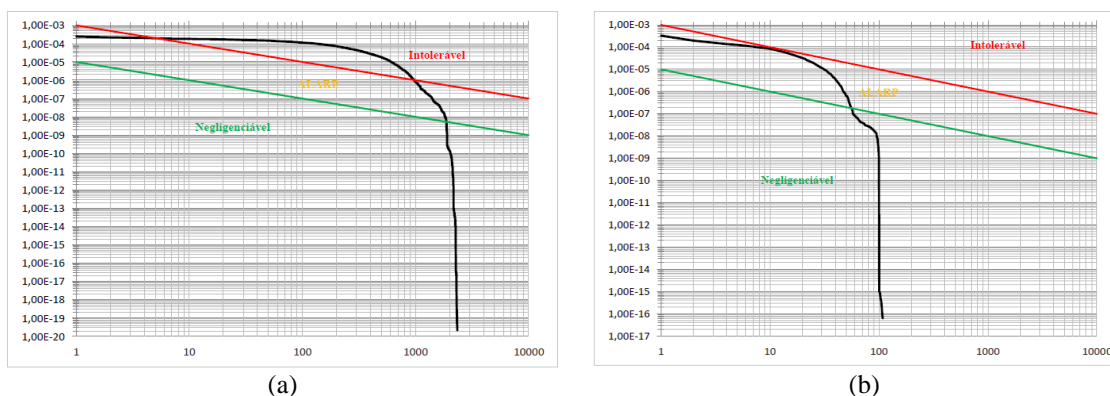


Figura 5 – Resultado do RS considerando-se (a) 47 prédios e (b) 47 residências unifamiliares

Para os casos em que a curva F-N situou-se na região de risco a ser reduzido, assim como para o caso acima mencionado, são solicitadas medidas de redução como placas de concreto sobre o duto, muro nos limites do empreendimento adjacentes à faixa e informação à operadora do duto da existência do aglomerado populacional naquela localização para que estes dados sejam levados em consideração quando da passagem do PIG instrumentado.

Mesmo para os casos em que a curva F-N encontrou-se na região de tolerabilidade, assim como em todos os outros casos, as seguintes medidas são requeridas:

- Submeter à aprovação da operadora do duto qualquer obra de interferência ao longo do trecho do duto dentro da área do loteamento ou adjacente;
- Melhorar a sinalização aérea do duto no trecho do loteamento, informando a existência do mesmo com avisos de não escavar e os telefones de emergência;
- Elaborar Plano de Ação de Emergência (PAE), prevendo pelo menos um exercício simulado anual que contemple o cenário de abandono do loteamento. Integrar esse Plano aos Planos de Emergência e de Comunicação de Risco da operadora responsável pelo duto, de modo a proporcionar uma atuação conjunta em eventuais situações de emergência.

4. CONCLUSÃO

Sob o ponto de vista do bem a proteger, decisões baseadas em risco envolvendo dutos não devem diferir daquelas envolvendo empreendimentos pontuais. Significa dizer que os critérios de tolerabilidade devem ser iguais, não distinguindo o bem a proteger próximo ao duto daquele próximo ao empreendimento pontual.

Os princípios que nortearam o critério de risco social da norma P4.261 convergem para a proteção do ser humano, independentemente de qual empreendimento (duto ou pontual) impõe risco.

O método proposto levou à determinação do comprimento do duto (500m) equivalente a um empreendimento típico de tamanho médio, de forma que o critério de risco social se aplica aos dois casos.

As decisões da CETESB sobre o risco imposto por dutos baseadas no critério de risco social no período 2015 - maio 2019 sugerem a coerência do critério e sua aderência ao princípio 2.1(d). Dutos com condições operacionais menos intensas, por exemplo, os de polietileno onde a pressão de operação não ultrapassou 7bar, tiveram suas curvas F-N situadas nas regiões de risco tolerável. Foram aprovados com poucas recomendações. Condições operacionais mais intensas pressupõem maiores alcances dos cenários acidentais e, consequentemente, maior número de fatalidades. Quando houve a combinação entre essas condições e densidade populacional mínima, a curva F-N deslocou-se para a região de risco a ser reduzido.

Já para locais de elevada ocupação humana e condições operacionais intensas, o critério apontou a intolerabilidade do risco. É o caso de loteamentos de interesse social onde há muitas unidades habitacionais em área pequena e próximos de faixa com diversos dutos transportando substâncias perigosas como GLP.

A coerência das decisões permite inferir a consistência do método, o qual pode ser aperfeiçoado a partir do diagnóstico periódico dos perímetros dos empreendimentos licenciados pela CETESB, com nova estimativa do tamanho equivalente de duto.

5. REFERÊNCIAS

- [1] BILO, M.; KINSMAN, P. “Risk Calculation for Pipelines Applied within the MISHAP HSE Computer Program”. *Pipes & Pipelines International*, March-April. (1998).
- [2] JO, Y-D.; AHN, J. B. “A Method of Quantitative Risk Assessment for Transmission Pipeline Carrying Natural Gas”. *Journal of Hazardous Materials*, v.A123, p. 1. (2005).
- [3] MA, L. et al. “A Novel Method of Quantitative Risk Assessment Based on Grid Difference of Pipeline Sections”. *Safety Science*, v.59, p. 219. (2013).
- [4] MENDES, R. F. et al. “Pipeline Risk Criteria and Methodology”. *Rio Pipeline Conference & Exposition 2011*. (2011). Disponível em: <[https://consulta-biblioteca.ibp.org.br/scripts/bnportal.exe/index#acao=busca&alias=geral&exp\[\]=Pipeline%20risk%20criteria%20and%20methodology&view=vbibltit0&order=data_pub%20desc&exp_default=/\\$/CODFONT E*\(ANL/TIPO+APR/TIPO\)*>](https://consulta-biblioteca.ibp.org.br/scripts/bnportal.exe/index#acao=busca&alias=geral&exp[]=Pipeline%20risk%20criteria%20and%20methodology&view=vbibltit0&order=data_pub%20desc&exp_default=/$/CODFONT E*(ANL/TIPO+APR/TIPO)*>)>. Acesso em: 04 nov. 2019.
- [5] SPOELSTRA, M. B.; LAHEIJ, G. M. H. “Towards a Method to Calculate Risks of Underground Pipelines Transporting Hazardous Substances”. *ICHEME. Hazards XXII. Symposium Series nº 156*, p. 254. (2011).
- [6] KNOOPE, M. M. J. et al. “The Influence of Risk Mitigation Measures on the Risks, Costs and Routing of CO₂ Pipelines”. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, v.29, p. 104. (2014).
- [7] STALLEN, P. J. M.; GEERTS, R.; VRIJLING, H K. “Three Conceptions of Quantified Societal Risk”. *Risk Analysis*, vol.16, n.5, p. 635. (1996).
- [8] BRITISH STANDARD (BSI). “PD 8010-3: 2009: code of practice for pipelines - part 3: steel pipelines on land – guide to the application of pipeline risk assessment to proposed developments in the vicinity of major accident hazard pipelines containing flammables - Supplement to PD 8010-1:2004. London, UK. (2008).
- [9] CETESB. *Risco de acidente de origem tecnológica – método para decisão e termos de referência*. Norma P4.261. 140 p. São Paulo, Brasil. (2014). Disponível em: <<http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/normas/11/2013/11/P4261.pdf>>. Acesso em: 04 nov. 2019.
- [10] CETESB. *Manual de orientação para a elaboração de estudos de análise de riscos*. Norma P4.261. 120 p. São Paulo, Brasil. (2003). Disponível na biblioteca da Cetesb.
- [11] STURGES, H. A. “The Choice of a Class Interval”. *Journal of the American Statistical Association*, v.216, n.153, p. 65. (1926).
- [12] MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. *Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros*. Tradução e revisão técnica de Verônica Calado. P. 315-319. LTC. Rio de Janeiro, Brasil. (2009).