

I-009 – O TAMANHO DA AMOSTRA NUM PLANO DE AMOSTRAGEM PARA O CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA EM REDE DE DISTRIBUIÇÃO – UM OLHAR ESTATÍSTICO SOBRE A REALIDADE ATUAL NO BRASIL – PORTARIA N.º 2914 ESTUDO DE CASO: BELO HORIZONTE

Arlindo Walter Nunes Mauro⁽¹⁾

Engenheiro civil, formado pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais em 1979. Funcionário da Companhia de Saneamento do Estado de Minas Gerais – COPASA – MG, onde atua na área de Controle de Qualidade da Água distribuída da RMBH.

Endereço⁽¹⁾: Rua Crucis, 91 apto: 202 – Alto Santa Lúcia – Belo Horizonte – MG – CEP:30360-290 – Brasil – Tel: (31) 3250-2386 – Email: arlindo.mauro@copasa.com.br

RESUMO

Visando garantir a qualidade da água distribuída aos consumidores, operadoras de S.A.A. seguem, dentre outras normativas, a Portaria N°2914 de 12/12/2011 do MS, que estabelece procedimentos relativos ao controle da qualidade da água para consumo humano. Dentre estes inclui-se a adoção de *Planos de Amostragem* – instrumentos estratégicos uma vez que, estatisticamente, são estes que determinam a precisão e os vícios porventura existentes nos resultados. Um plano amostral compõe-se essencialmente por dois pilares: *tamanho da amostra* e *onde estas serão coletadas*. O tamanho da amostra, por sua vez, envolve três elementos: *p* – proporção de interesse; *α* – nível de significância e *d* – precisão (margem de erro). O objetivo desse estudo foi avaliar, do ponto de vista estatístico, os resultados obtidos para o tamanho da amostra (*n*), aplicando-se diversas combinações destes elementos e compará-los aos estabelecidos pela Portaria N°2914. As metodologias adotadas estão descritas em “Sample size determination in health studies” (WHO). Utilizou-se base histórica de dados de qualidade de água distribuída para os parâmetros coliforme total, turbidez, cloro e flúor obtidos pela Copasa em Belo Horizonte no período de janeiro/2002 a dezembro/2011. Os resultados demonstraram, como esperado, que, quanto menor o tamanho da amostra, maior a margem de erro obtida e, portanto, menor precisão. Entretanto, eles também demonstraram que, para uma média histórica mensal de presença de coliforme total em amostras de água de 3,439% verificada no período, todas as combinações entre margens de erro amostral (*d*), variando de 5,0% a 2,5% e os níveis de significância *α*, variando de 99% a 90%, determinaram um valor *máximo do tamanho da amostra (n)* de 353, que corresponde a situação mais precisa (*d* = 2,5% e *α* = 99%). Este valor é *significativamente inferior aos 625* estabelecidos pela Portaria N°2914 para Belo Horizonte (população abastecida de 2,6 milhões). O erro amostral correspondente ao mesmo é de 1,88%. No outro extremo, para uma cidade com 5.000 habitantes, o *tamanho mínimo da amostra seria de 88, significativamente superior as 10 amostras* determinadas pela mesma Portaria. Neste caso, o erro amostral atinge inadmissíveis 14,84%. Para os demais parâmetros e combinações intermediárias, entre erros e níveis de significância, os resultados obtidos seguiram a mesma tendência, apontando, para coliforme total, um *tamanho mínimo de 36* na pior situação testada: *d* = 5,0%; *α* = 90% para 5.000 hab. Conclui-se que, a Portaria N°2914, quanto ao tamanho da amostra adotada no controle da qualidade da água distribuída, para os parâmetros analisados, é perigosamente permissiva quando aplicada a pequenas comunidades e desnecessariamente “rigorosa” quando o é nas grandes cidades. Recomenda-se assim, sua urgente revisão de modo a tornar esse instrumento normativo numa ferramenta mais eficaz e confiável, possibilitando-a contribuir, de forma mais equânime, para a melhoria e preservação da saúde humana.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade da água, plano de amostragem, tamanho da amostra, portaria 2914.

INTRODUÇÃO

Visando garantir a qualidade da água distribuída aos seus consumidores, operadoras de Sistemas de Abastecimento de água – S.A.A. seguem, dentre outras normativas, a Portaria N° 2914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde, que estabelece procedimentos relativos ao controle da qualidade da água para consumo humano. Dentre estes procedimentos, inclui-se a adoção de *Planos de Amostragem* que são instrumentos estratégicos fundamentais, uma vez que, estatisticamente, são estes que determinam a precisão e

os vícios porventura existentes nos resultados obtidos. Um plano amostral compõe-se essencialmente por dois pilares: *tamanho da amostra* e *onde estas serão coletadas*. O tamanho da amostra, foco deste trabalho, por sua vez, envolve três elementos, a saber: proporção de interesse (p); nível de significância (α) e precisão (margem de erro) (d).

OBJETIVO

O presente estudo teve por objetivo avaliar, do ponto de vista estatístico e tendo por referência a qualidade da água distribuída na cidade de Belo Horizonte, os resultados obtidos para os tamanhos da amostra (n), aplicando-se diversas combinações dos condicionantes: proporção de interesse (p); nível de significância (α) e precisão (margem de erro) (d) e compará-los aos estabelecidos direta ou indiretamente pela Portaria N° 2914.

DESENVOLVIMENTO

Para o desenvolvimento do estudo, foram selecionados os resultados de análises realizadas para o parâmetro Coliformes Totais, Turbidez, Cloro e Flúor em amostras de água distribuída coletadas mensalmente pela Copasa na cidade de Belo Horizonte, num período de 10 anos, compreendido entre janeiro de 2002 a dezembro de 2011. Estes dados foram extraídos de um banco de dados disponibilizados por um sistema informatizado de controle de qualidade de água – SICQA, utilizado pela empresa. As bases metodológicas estatísticas adotadas no cálculo do tamanho das amostras foram as descritas em “Sample size determination in health studies (WHO)”. Como proporção de interesse p foi adotada, para cada parâmetro, a média histórica do percentual de anômalos (amostras fora dos padrões estabelecidos pela Portaria n° 2914) observada no período considerado e que são apresentadas na Tabela 1. No cálculo do tamanho da amostra foram realizadas simulações adotando-se níveis de significância α de 90, 95 e 99% com seus respectivos $z_{\alpha/2}(k)$ de 1,645, 1,96 e 2,576 e margem de erros d variando de 10 a 2,5%. A formula utilizada para o cálculo do tamanho da amostra (n) para populações finitas (N) foi:

$$n = \frac{n_0}{1 + (n_0 - 1) / N} \quad \text{onde} \quad n_0 = \frac{z(k)^2 pq}{d^2} \quad \text{e} \quad q = 1 - p$$

Tabela 1: Proporções de interesse (p) adotadas por parâmetros/Critério – Belo Horizonte

Proporção de Interesse - p	
Parâmetro - critério de interesse	Média histórica do % FDP - (p)
Coliforme Total - (Presença)	3,43960 - (0,0343960)
Turbidez - (> 5,0 UT)	0,32878 - (0,0032878)
Turbidez - (> 1,0 UT)	2,44989 - (0,0244989)
Flúor - (< 0,65 ou > 0,85)	25,90500 - (0,2590500)
Cloro - (< 0,20 ou > 2,00)	1,39306 - (0,0139306)

RESULTADOS

Inicialmente, para níveis de significância de 90, 95 e 99%, foram construídos gráficos onde foram plotadas as curvas relacionando o tamanho de amostra n versus população, obtidas a partir da proporção de interesse $p = 0,034396$ referente ao parâmetro Coliforme Total (valor da média histórica do percentual de presença na água distribuída em Belo Horizonte). Na Figura 1 são apresentas as curvas para as diversas margens de erros d obtidas para o nível de significância de 95%.

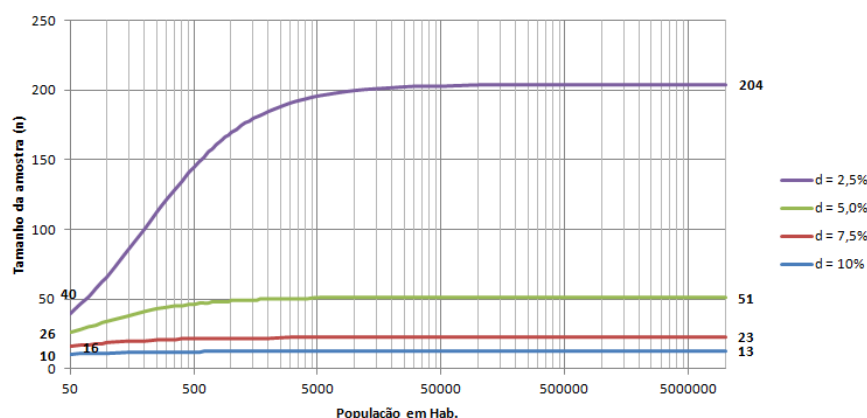


Figura 1: Estimativa do tamanho da amostra - Coliforme Total – Belo Horizonte $p=0,034396$ e $Z_{\alpha/2}=95\%$

Pelas curvas apresentadas verifica-se, como era de se esperar, que quanto menor o tamanho da amostra maior o erro amostral d admitido, sendo que entre as curvas de $d = 5,0$ e $2,5\%$ observou-se um salto extremamente significativo, o que determinou que essa faixa fosse posteriormente estratificada. A Figura 2 apresenta, para o $Z_{\alpha/2}=95\%$, as curvas obtidas para d variando de 5,0 a 2,5%. Pelo perfil das curvas apresentadas, tanto na Figura 1 quanto na Figura 2, observou-se que as mesmas são assintóticas em relação ao tamanho da amostra n , o que equivale a dizer que, a partir de uma determinada população não há nenhum incremento significativo no valor da variável n correspondente. Por exemplo, para $d = 2,5\%$ e população de 10 mil habitantes, o tamanho de n seria de 200,047 (≈ 200), de 50 mil habitantes, n seria de 203,285 (≈ 203) e, para 10 milhões habitantes, seria de 204,107 (≈ 204). Sob as curvas da Figura 2, plotou-se então a curva correspondente ao plano de amostragem (tamanho da amostra n) estabelecido pela Portaria nº 2914 para o parâmetro Coliforme total cujo resultado, apresentado na Figura 3, demonstra que, de uma maneira geral, frente ao modelo estatístico aqui adotado, o referido plano pode ser considerado bastante “rigoroso” para cidades maiores e extremamente “permissivo” para as de menor população.

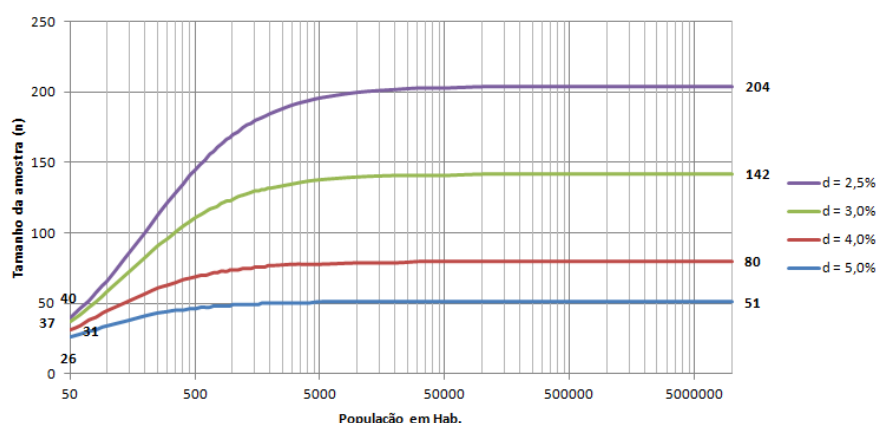


Figura 2: Estimativa do tamanho da amostra - Coliforme Total – Belo Horizonte $p=0,03439$ e $Z_{\alpha/2}=95\%$

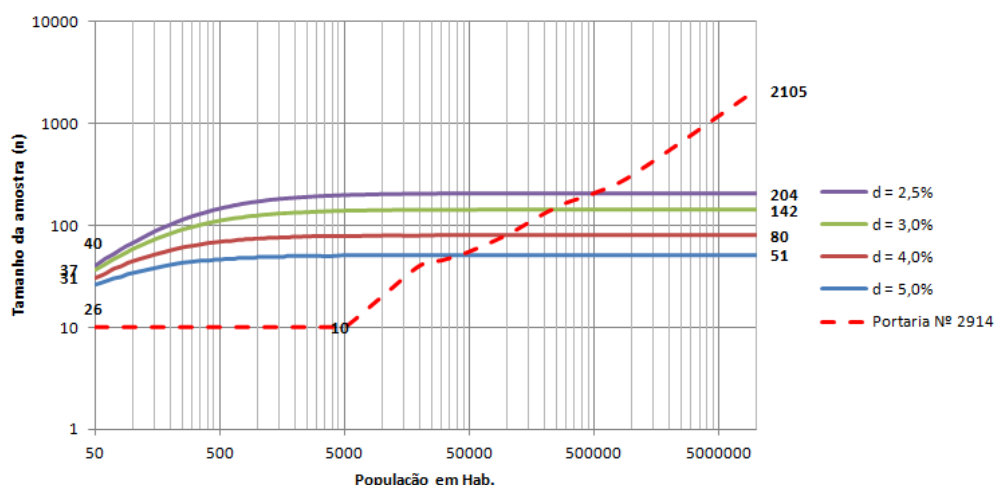


Figura 3: Estimativa do tamanho da amostra - Coliforme Total – Belo Horizonte
 $p=0,03439$ e $Z_{\alpha/2}=95\%$ X Portaria nº 2914

Com a finalidade de avaliarmos os erros amostrais admitidos d , correspondentes à aplicação da Portaria nº 2914 à Belo Horizonte ($p = 0,034396$), construiu-se para o parâmetro Coliforme Total, as curvas relacionando esta variável ao tamanho da amostra n para os níveis de significância de 90, 95 e 99% – Figura 4.

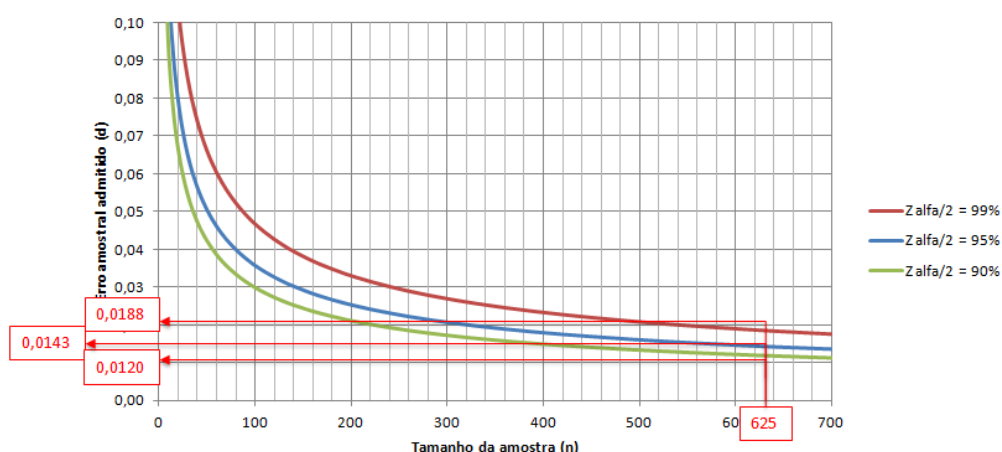


Figura 4: Estimativa do erro amostral d admitido - Coliforme Total – Belo Horizonte – $p=0,034396$

Assim, para um tamanho mínimo da amostra de 625, correspondente à população de 2,6 milhões de habitantes, o erro associado variou de 1,20% a 1,88%, fixando-se em 1,43% para um $Z_{\alpha/2}=95\%$, valores estes, como já ditos, desnecessariamente rigorosos.

No outro extremo, se adotarmos um valor de n igual a 10, correspondente às populações de até 5 mil habitantes (Portaria nº 2914) com o perfil de qualidade de água de Belo Horizonte, atingiríamos inadmissíveis 11,29%, conforme apresentado na Figura 5.

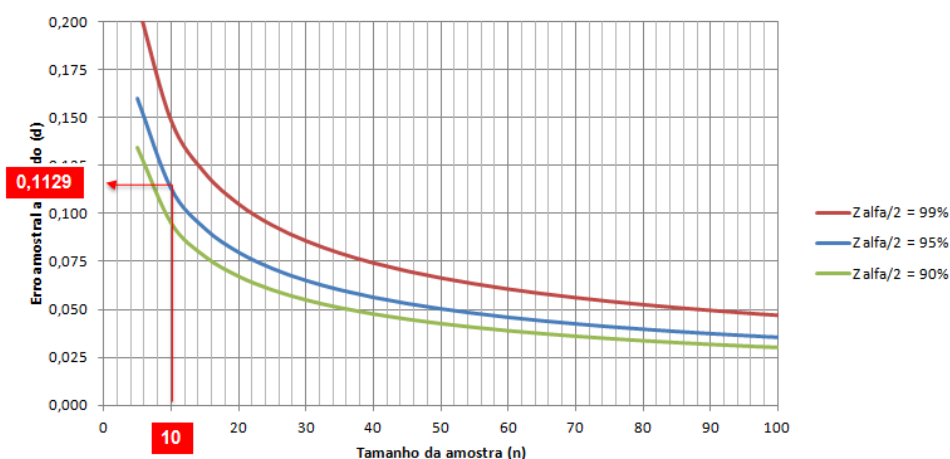


Figura 5: Estimativa do erro amostral d admitido – Coliforme Total – Perfil Belo Horizonte – $p=0,03439$

Aplicando-se os mesmos procedimentos para o parâmetro Turbidez, cuja proporção de interesse p foi de 0,0032878 para um limite máximo na rede de distribuição de 5,0 UT (Tabela 1) obteve-se as curvas apresentadas na Figura 6. Nesta podemos observar que se adotarmos para esse parâmetro o tamanho da amostra n igual a 625 exigido pela Portaria nº 2914, o erro amostral d admitido seria de 0,45% para um nível de significância de 95%, dissonante com os 1,43% obtidos para o parâmetro Coliforme Total (Figura 4) que, de acordo com a mesma portaria, tem que ser amostrado igualmente. Se considerarmos essa margem de erro de 1,43%, o tamanho da amostra n correspondente para o parâmetro turbidez seria de 60, conforme apresentado na Figura 7.

Para os demais parâmetros e combinações intermediárias entre erros amostrais, níveis de significância e tamanho da amostra, os resultados obtidos seguiram a mesma tendência e são apresentados de forma resumida nas Tabelas 2 e 3.

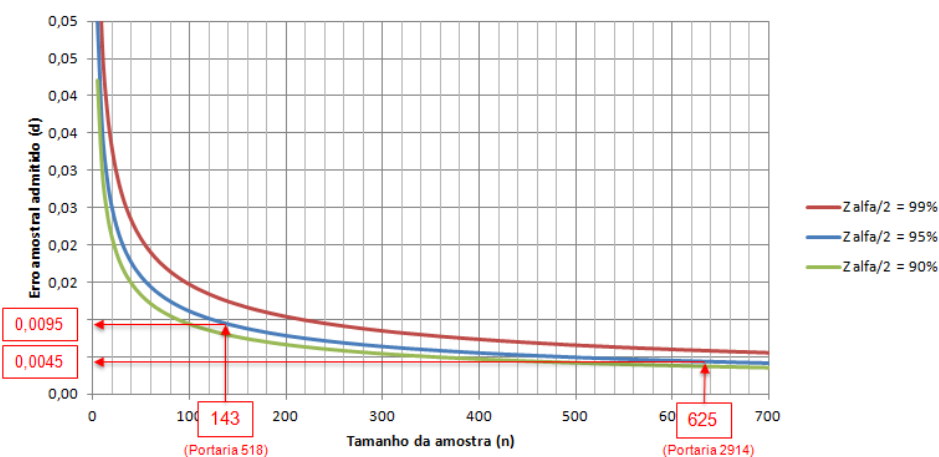


Figura 6: Estimativa do erro amostral d admitido – Turbidez –Belo Horizonte – $p=0,0032878$

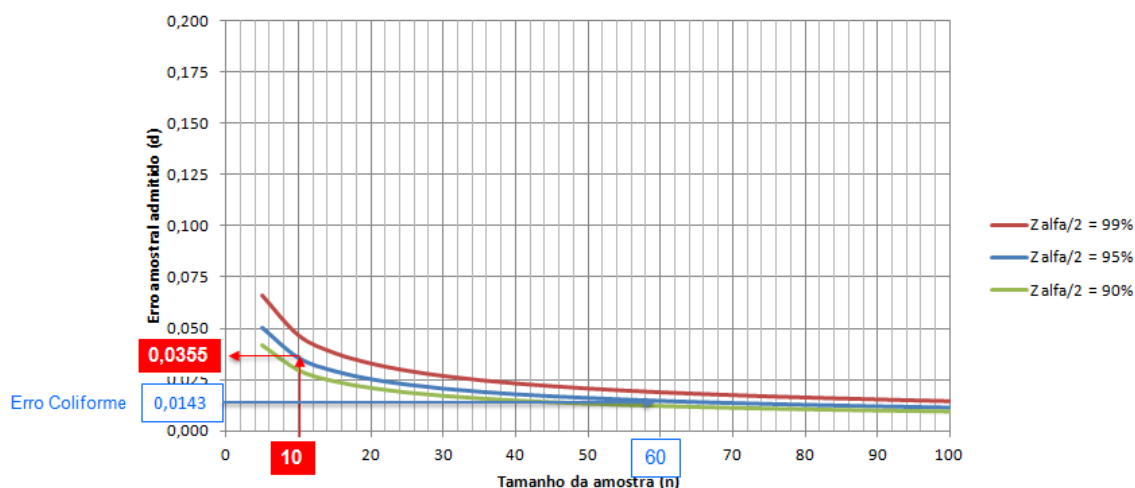


Figura 7: Estimativa do erro amostral d admitido – Turbidez –Belo Horizonte – $p=0,0032878$

Tabela 2: Resumo dos tamanhos da amostra n obtidos variando-se α , d e p e para a simulação para $p = 0,05$ considerando os 5% máximos admitidos pela Portaria nº 2914 para Coliforme Total.

CÁLCULO DO TAMANHO DA AMOSTRA (n) – Belo Horizonte – Ref: jan/2002 a dez/2011													
Parâmetro	Proporção Interesse p (%)	Nível de confiança (α)											
		90%				95%				99%			
		Erro amostral (d)											
		5,0%	4,0%	3,0%	2,5%	5,0%	4,0%	3,0%	2,5%	5,0%	4,0%	3,0%	2,5%
PORTARIA 2914	5,0	51	80	143	206	73	114	203	292	126	197	350	504
Coliforme Total	3,43900	36	56	100	144	51	80	142	204	88	138	245	353
Turbidez (>1UT)	2,44989	26	40	72	103	37	57	102	147	63	99	176	254
Cloro	1,39306	15	23	41	59	21	33	59	84	36	57	101	146
Flúor	25,9050	208	325	577	831	295	461	819	1180	509	796	1415	2037

Tabela 3: Erro amostral admitido d – Portaria nº 2914 e Portaria nº 518 (Turbidez)

PORTARIA Nº 2914 – ERRO AMOSTRAL ADMITIDO d (%)					
Parâmetro	População Hab.	Nº de Amostras	Nível de confiança		
			90%	95%	99%
Coliforme Total $p = 3,43960$	< 5.000	10	9,48	11,29	14,84
	20.000	40	4,74	5,65	7,42
	250.000	155	2,41	2,87	3,77
	B. Horizonte	625	1,20	1,43	1,88
Turbidez (>1UT) $p = 2,44989$	< 5.000	10	8,04	9,58	12,59
	20.000	40	4,02	4,79	6,30
	250.000	155	2,04	2,43	3,20
	B. Horizonte	625	1,02	1,21	1,59
Turbidez (>5UT) $p = 0,32878$	< 5.000	10	2,98	3,55	4,66
	20.000	40	1,49	1,77	2,33
	250.000	155	0,76	0,90	1,18
	B. Horizonte	625	0,38	0,45	0,59
PORTARIA Nº 518 – ERRO AMOSTRAL ADMITIDO d (%)					
Turbidez (>1UT) $p = 2,44989$	< 50.000	10	8,04	9,58	12,59
	250.000	50	3,60	4,29	5,63
	B. Horizonte	143	2,13	2,53	3,33

Como se pode observar na tabela 2, na linha correspondente à Portaria 2914, foi também simulado a possibilidade de considerarmos a proporção de interesse $p = 0,05$, ou seja, um limite máximo da ocorrência de resultados anômalos para qualquer parâmetro de 5%, a exemplo do estabelecido para o parâmetro Coliforme Total na rede de distribuição. Nesta situação, para as combinações limites testadas obteríamos para o tamanho n da amostra valores de 51, para $d = 5\%$ e α de 90% e de 504, para $d = 2,5\%$ e α de 99%, valores esses, muito distantes dos estabelecidos no plano de amostragem da referida portaria. Os erros amostrais admitidos d observados, adotando-se a proporção de interesse $p = 0,05$ para $n = 625$ (Belo Horizonte) e $n = 10$ (População < 5.000 hab.) são apresentados nas Figuras 8 e 9, respectivamente. Nelas evidencia-se de forma inequívoca a desproporcionalidade da abordagem entre as duas situações, uma vez que para a primeira obtêm-se *exigentes* valores de 1,14 a 2,25% contra os *inadmissíveis* 11,34 a 17,75% para a segunda.

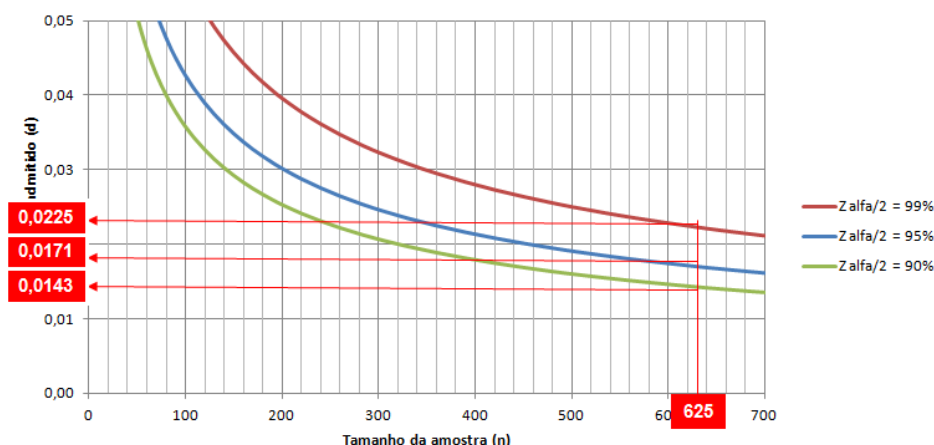


Figura 8: Estimativa do erro amostral d admitido – Belo Horizonte – $p=0,05$

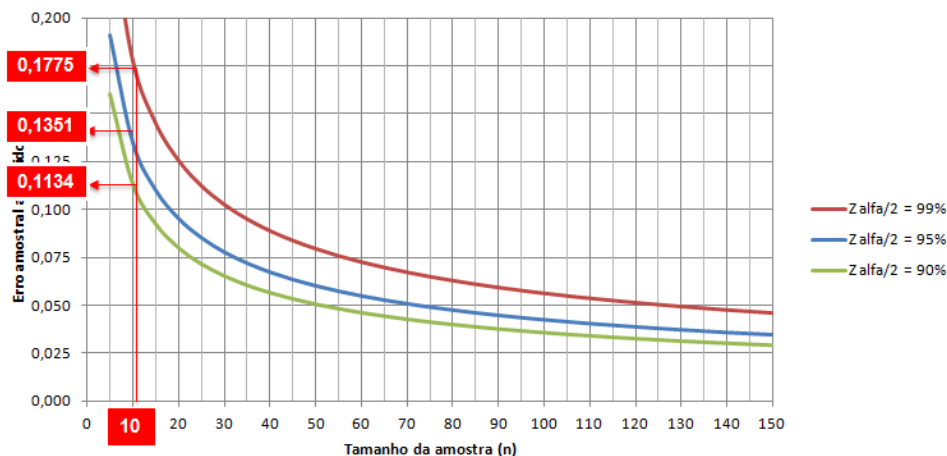


Figura 9: Estimativa do erro amostral d admitido – População < 5.000 Hab. – $p=0,05$

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- A Portaria nº 2914, quanto ao tamanho da amostra n , para o caso em estudo, é *extremamente permissiva* quando aplicada às *pequenas comunidades* e *desnecessariamente “rigorosa”* quando o é nas *grandes cidades*, se for considerado os erros amostrais d (precisões) correspondentes.
- Do ponto de vista estatístico, não há porque se adotar o mesmo plano de amostragem para os parâmetros Coliformes Totais e Turbidez, uma vez que a ocorrência de anômalos (proporção de interesse p) e,

consequentemente, os erros amostrais admitidos correspondentes, são completamente disparees se considerarmos que o padrão adotado para este último pela Portaria nº 2914 é de no máximo 5UT na distribuição.

- Ao simularmos o padrão adotado para Turbidez na distribuição de 1UT, verificou-se uma aproximação razoável nos valores dos erros admitidos d encontrados para ambos os planos, sendo, entretanto, só aceitável aqueles para as cidades com população próxima a 250.000 hab. ($n = 155$) com qualidade da água similar a de Belo Horizonte, onde esses valores alcançaram 2,04 a 3,20% para a Turbidez e 2,41 a 3,77% para o Coliforme Total, variando conforme o nível de significância α adotado.

- O tamanho da amostra está intrinsecamente relacionado à qualidade da água p que se deseja controlar e ao nível de precisão d esperado para os resultados desse controle e, em assim sendo, esses parâmetros, não só devem *ser necessariamente considerados* no cálculo, como também devem *ser explicitamente declarados*.

- Recomenda-se uma urgente revisão do Capítulo VI – “Dos planos de amostragem” da Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde, de modo a tornar esse instrumento normativo numa ferramenta mais confiável e eficaz que possa contribuir, de forma equânime, na melhoria e preservação da saúde humana.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL, Ministério da Saúde. Portaria N.º 36 de 19 de janeiro de 1990. Aprova normas e padrão de potabilidade da água destinada ao consumo humano. *Diário Oficial*, Poder Executivo, Brasília, DF, 1990.
2. BRASIL, Ministério da Saúde. Portaria N.º 518 de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. *Diário Oficial*, Poder Executivo, Brasília, DF, 2004.
3. BRASIL, Ministério da Saúde. Portaria N.º 2914 de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. *Diário Oficial*, Poder Executivo, Brasília, DF, 2011.
4. BRASIL, Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Comentários sobre a Portaria MS n.º 518/2004: subsídios para implementação – Brasília: editora do Ministério da Saúde, 2005.
5. BRASIL, Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Diretriz nacional do plano de amostragem de vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. – Brasília : Ministério da Saúde, 2006. 60 p. – (Série A. Normas e Manuais Técnicos).
6. COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS (OPERADORA). Sistema de Informação da Qualidade da Água – SICQA. [disponibilização interna] Versão 2012. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2012.
7. LWANGA, S. K. Sample size determination in health studies: a practical manual. World Health Organization – WHO, Geneva, (1991).
8. WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Guidelines for Drinking Water Quality [eletronic resource] : incorporation first addendum. Vol 1, Recommendations. – 3rd ed. Geneva, 2008. Disponível em: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/fulltext.pdf

AGRADECIMENTOS

O autor agradece a disponibilidade e colaboração direta ou indireta de todos os técnicos e funcionários da Divisão de Pesquisa e Controle da Qualidade da Água e Esgoto – Laboratório Central da Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA no desenvolvimento e elaboração do presente trabalho. Agradece também, em especial, o apoio recebido da turismóloga e geógrafa Mariana Fonseca Mauro.