



Determinação da concentração de ozônio residual em água mineral utilizada em processo de sanitização

Francisco Resende de Albuquerque¹, Vitória Bezerra da Silva²

¹Unidade Acadêmica de Garanhuns/ UAG/UFRPE (francisco.resende@ufrpe.br)

²Unidade Acadêmica de Garanhuns/ UAG/UFRPE

Resumo

A sanitização de embalagens na indústria de água mineral é uma etapa crítica, com emprego de substâncias químicas geradoras de resíduos perigosos, tais como ácido peracético, cloro, peróxido de hidrogênio, soda cáustica etc. Mas nos últimos anos tem-se intensificado a utilização de ozônio no processo de sanitização, pois este agente químico é reconhecido como seguro para o tratamento de garrafas de água pela “Food and Drug Administration”. Entretanto, no Brasil inexistente regulamentação que discipline a utilização de ozônio na indústria de água mineral, e tal insegurança jurídica dificulta o controle da poluição ambiental e, principalmente, a fiscalização do meio ambiente de trabalho. O presente trabalho tem o objetivo de determinar a concentração de ozônio residual presente em uma água mineral utilizada em processo de sanitização. Empregou-se planejamento fatorial 2^2 com os fatores: i) teor de gás ozônio na fase gasosa: 20,0 e 80,0%vv; e ii) vazão de gás ozônio na fase aquosa (água mineral): 1,0 e 5,0 L/min. O incremento na vazão de gás ozônio na fase líquida, utilizando um sistema para dissolução do gás com unidade para eliminação do excesso de ozônio gasoso, não provocou aumento na concentração de ozônio residual na água mineral, com valor de 0,255 ($\pm 0,026$) mg/L, enquanto que o acréscimo no teor de gás ozônio na fase gasosa resultou em uma elevação na concentração de ozônio residual de 0,255 ($\pm 0,026$) mg/L para 0,898 ($\pm 0,090$) mg/L.

Palavras-chave: Ozônio. Indústria de água mineral. Planejamento fatorial.

Área Temática: Gestão Ambiental na Indústria, Serviços e Comércio.

Determination of residual ozone concentration in mineral water used in sanitization process

Abstract

The packaging sanitation in the mineral water industry is a critical step, with chemicals that generate hazardous waste, such as peracetic acid, chlorine, hydrogen peroxide, caustic soda etc. In the recent years the ozone employment in the sanitization process has been intensified because this chemical agent is recognized as safe for the treatment of water bottles by the "Food and Drug Administration". However, in Brazil there isn't regulation to the use of ozone in the mineral water industry, causing legal uncertainty, making it hard to supervise the working environment and the environmental pollution control. This work aims to determine the concentration of residual ozone present in a mineral water used in sanitizing process, using factorial design 2^2 with the following factors: i) ozone gas content in the gas phase: 20.0 and 80.0% vv; and ii) flow rate of ozone gas in the liquid phase (mineral water): 1.0 and 5.0 L/min. The increase the flow rate of ozone gas using mixer, which eliminates the excess gaseous phase, caused no increase in the residual ozone content in mineral water, with a value of 0.255 (± 0.026) mg/L, while the increase in ozone content in the gas phase caused a variation in the residual ozone concentration of 0.255 (± 0.026) mg/L to 0.898 (± 0.090) mg/L.

Keywords: Ozone. Industry of mineral water. Factorial design.

Thematic area: Environmental Management in Industry, Services and Trade.



1. Introdução

O Brasil é o quinto maior mercado consumidor de água engarrafada no mundo, tendo consumido, em 2013, cerca de 18,2 bilhões de litros, com quociente per capita de 90,3 litros por ano (DNPM, 2014), abrangendo, em quase sua totalidade, águas classificadas como minerais (89,8%) e potáveis de mesa (10,2%). Na produção industrial de águas minerais o processo de sanitização de embalagens (remoção ou redução de carga microbiana) é uma das etapas mais crísticas, na qual são utilizados meios físicos, como calor e radiação ultravioleta, e processos químicos. Neste último caso é comum a aplicação de ácido peracético ($\text{CH}_3\text{CO}_3\text{H}$), cloro (Cl_2), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e soda cáustica (NaOH) (VAISTMAN; VAISTMAN, 2005), substâncias geradores de resíduos químicos perigosos (COSTA, FELLI, BAPTISTA, 2012). Nos últimos anos, em substituição destes agentes químicos, tem-se utilizado o gás ozônio (O_3) por ser reconhecido como seguro para o tratamento de garrafas de água pela “Food and Drug Administration” (AMARAL et al, 2003), e por não deixar resíduos tóxicos nos alimentos capazes de alterar o odor e o sabor dos mesmos, quando aplicado de forma controlada (CABRAL et al, 2015).

O art. 3º do Código de Águas Minerais (Decreto-Lei 7841/1945) define águas potáveis de mesa como águas com “composição normal provenientes de fontes naturais ou de fontes artificialmente captadas que preencham tão somente as condições de potabilidade”, ao passo que a Resolução 274/2005 (RDC) ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) conceitua águas minerais como aquelas obtidas diretamente de fontes naturais ou por extração de águas subterrâneas, caracterizadas pelo conteúdo definido e constante de determinados sais minerais, oligoelementos e outros constituintes, com o Decreto-Lei 7841/1945 destacando a ação medicamentosa. A comercialização de água mineral no Brasil é disciplinada pelo Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM - e pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA, órgãos que têm atribuições para estabelecerem, também, as condições higiênico-sanitárias e de boas práticas de fabricação na indústria de água mineral, como constatado na Resolução 173/2006 (RDC) ANVISA, que traz os procedimentos que devem ser adotados pelos estabelecimentos industriais e comerciais a fim de garantir a qualidade higiênico-sanitária e a conformidade dos produtos alimentícios.

Na indústria de água mineral o enchimento das embalagens retornáveis abrange, de maneira geral, as seguintes etapas: recepção de garrações, pré-lavagem, lavagem, sanitização, captação e adução, envasamento, tampamento, inspeção visual, rotulagem, lacre, encamisamento e expedição (VAISTMAN; VAISTMAN, 2005). A Resolução (RDC) ANVISA 54/2000 define os padrões microbiológicos para as águas minerais, na fonte, poço ou local de surgência e de sua comercialização, e devem estar ausentes de microorganismos patogênicos. Em contrapartida, a Portaria DNPM 374/2009 traz especificações de aproveitamento das águas minerais, com indicação de padrões de identidade e qualidade, e não podem apresentar *E. coli* ou coliformes (fecais) termotolerantes ou coliformes totais, enterococos, *P. aeruginosa* e/ou clostrídios sulfitorredutores em quantidade superior a 2 UFC/mL (AMARAL, 2003). A etapa de sanitização é uma das mais importantes na produção de água mineral, e atualmente muitas indústrias vem empregando o gás ozônio por ser reconhecido como um agente seguro para o tratamento de garrafas de água pela Food and Drug Administration, (AMARAL, 2003).

O ozônio é uma substância simples com um potencial de oxidação de 2,07 V, maior do que os potenciais associados ao cloro (Cl_2) e ao permanganato de potássio (KMnO_4), ou até mesmo ao do peróxido de hidrogênio (H_2O_2), sendo o mais poderoso oxidante permitido para o tratamento da água, que na concentração de 0,4 mg/L, por um tempo de contato mínimo de 4 minutos, permite a extinção e a inativação de bactérias e vírus no meio aquoso (REINOLD, 1998). No Brasil, apesar do DNPM ter implantado Grupo de Estudo, através da Portaria



337/2002 DNPM/MME, para instituição de normas técnicas referentes à “Aplicação de Ozônio na Indústria de Água Mineral”, inexistente atualmente regulamentação para o uso de ozônio neste ramo industrial, ou seja, não há parâmetros mínimos a serem observados na desinfecção de equipamentos e embalagens, como também para a fiscalização ambiental. Em contrapartida, a utilização de ozônio é admitida na lavagem dos vasilhames na indústria de água mineral, não sendo permitido o seu uso no enxágue final, conforme relato que consta na Ata da 1ª Reunião da Comissão Permanente de Crenologia, órgão integrante do Ministério de Minas e Energia, realizada em 20 de abril de 2005.

Com o intuito de contribuir para uma regulamentação necessária à “Aplicação de Ozônio na Indústria de Água Mineral”, o presente estudo tem o objetivo de determinar a concentração de ozônio residual em uma água mineral utilizada em processo de sanitização, empregando planejamento fatorial 2^2 (BERGMAN et al, 1998) com os fatores: i) teor de ozônio na fase gasosa e ii) vazão de ozônio na fase aquosa (água mineral).

2. Metodologia

Neste estudo utilizou-se o equipamento Ozoxi-ozonio PXZ 3507 (ozonizador/unidade de geração de ozônio/gerador de ozônio) para a produção de gás ozônio, com o percentual (teor) de ozônio na fase gasosa ajustável em 20%, 40%, 60% e 80% vv, e com a vazão variável de 1,0 L/min a 5,0 L/min. Empregou-se planejamento fatorial 2^2 (BERGMAN et al, 1998) com os fatores: i) teor de gás ozônio na fase gasosa: 20% vv (-) e 80%vv (+); e ii) vazão de gás ozônio na fase aquosa (água mineral): 1,0 L/min (-) e 5 L/min (+). Na Tabela 1 encontra-se a matriz de planejamento fatorial com as respectivas codificações.

Tabela 1 – Fatores experimentais, domínio experimental e codificação de variáveis referentes ao planejamento fatorial 2^2 .

Fatores	Domínio	Codificação
Teor de $O_{3(g)}$ na fase gasosa (T)	20,0% vv	-1
	80,0% vv	+1
	60,0% vv	0,5
Vazão de $O_{3(g)}$ na fase aquosa (V)	1,00 L.min ⁻¹	-1
	5,00 L.min ⁻¹	+1
	3,00 L.min ⁻¹	0

Para determinação da concentração de ozônio residual na água mineral foi aplicado o método iodométrico, realizando-se as análises em triplicata. Na solução aquosa contendo ozônio dissolvido foi adicionado iodeto de potássio (KI), e o pH ajustado para 2 com adição de ácido sulfúrico (H_2SO_4). Depois de 3,0 min da coleta da água mineral, a amostra foi titulada com solução 0,00936 mol.L⁻¹ de tiosulfato de sódio ($Na_2S_2O_3$), padronizada com dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_3$), utilizando-se amido como indicador (WARDANI, 2012; SOMIYA, 1996). Antes das análises de ozônio dissolvido foram realizados testes que comprovaram a inexistência de agentes oxidantes na água mineral (branco). Durante os experimentos a água mineral apresentou temperatura em torno de 27,0 ($\pm 1,0$) °C.

A partir dos resultados experimentais foi ajustado um modelo estatístico de interação de segunda ordem (BERGMAN et al, 1998) para descrição do sistema em estudo, com base na interação entre as variáveis codificadas (T, V) e as respostas experimentais (concentração de ozônio dissolvido na água mineral- C):

$$C = b_0 + b_1T + b_2V + b_3T.V \quad (1)$$

b_0 , b_1 , b_2 e b_3 são parâmetros determinados.



3. Resultados e Discussão

O ozônio gasoso produzido foi dissolvido em uma água mineral classificada como fluoretada, com concentração 0,05 mg/L de fluoreto (F^-), de acordo com o art. 1º da Portaria DNPM 540/2014, que estabelece os limites mínimos dos elementos dignos de nota para a classificação das Águas Minerais, com a fonte caracterizada como hipotermal e radioativa. As características físico-químicas da água mineral são apresentadas na Tabela 2.

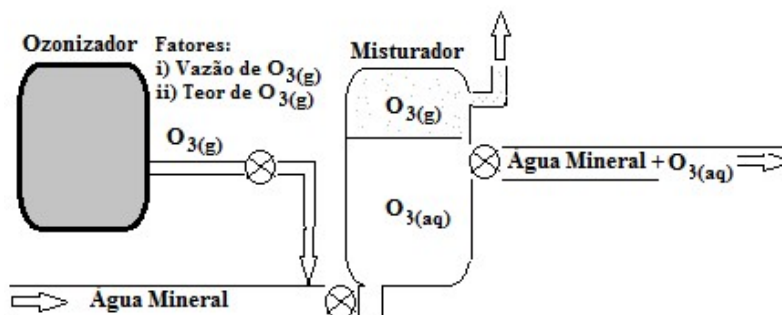
Tabela 2. Características físico-químicas da água mineral.

pH 25° C	Resíduo 110° C (ppm)	Condut. 25° C ($\mu S/cm$)	HCO_3^- (ppm)	$SO_4^{=}$ (ppm)	Cl^- (ppm)	Al^{3+} (ppm)	Ca^{2+} (ppm)	Mg^{2+} (ppm)	K^+ (ppm)	Na^+ (ppm)
5,0	44,8	54,3	9,0	2,6	8,1	0,01	0,54	0,71	1,5	6,2

Fonte: Laboratório de Análises Minerais – LAMIN/CPRM, empregando o Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater (2005).

A dissolução do ozônio gasoso na água mineral foi inicialmente realizada em uma câmara de mistura (misturador) confeccionada em inox, com formato de paralelepípedo (30,0 cmx30,0 cmx50,0 cm) e instalada a 20,0 m do ponto de coleta da água mineral saturada com ozônio residual, contendo dois orifícios para o fluxo aquoso saturado (entrada e saída). Mas durante as análises foi constatada a emissão de gás ozônio, mediante bolhas, no ponto de coleta água mineral, tornando o meio ambiente de trabalho insalubre. Para minimizar tal problemática utilizou-se uma câmara de mistura com orifício na parte superior para assegurar que a pressão parcial do ozônio gasoso na câmara de mistura fosse mantida constante e que o excesso do gás fosse descartado para a atmosfera, e também foi ajustada, durante as análises, a altura da coluna líquida em 30,0 cm aproximadamente (Figura 1). A NR 15 do Ministério do Trabalho, que trata da exposição máxima do gás ozônio no ambiente de trabalho, estabelece o limite máximo de 0,080 ppm para jornadas de trabalho de até 48 horas por semana.

Figura 1 – Sistema empregado para dissolução do gás ozônio na água mineral.

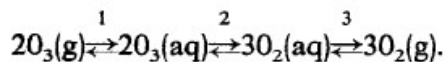


No sistema foram utilizadas canalizações de PVC com diâmetro interno de 20,0 mm, desconsiderando-se a perda de ozônio devido a reação com PVC (SUMMERFELT, HOCHHEIMER, 1997); a vazão média foi de 260,4 ($\pm 9,4$) cm^3/s , de modo que o intervalo de tempo, entre os pontos de saída da água mineral saturada da câmara de mistura e o de coleta para análise, foi de aproximadamente 25 s. O tempo de meia vida do ozônio é pH-dependente, e em solução aquosa com pH 7,0 a 30° C tem valor em torno de 12 min (LENTECH, 2015).

Apesar de estudos demonstrarem que a transferência de massa do gás ozônio em contato com uma solução aquosa pode ser majorada com a redução do tamanho das bolhas (FILHO, 2010), neste trabalho foi empregado um injetor *venturi* de PVDF sem ajuste na dimensão das bolhas na solução líquida. Entretanto, a pressão parcial do ozônio gasoso sobre



a água mineral foi mantida constante em razão de resultados indicarem que a dissolução do ozônio obedece a Lei de Henry (SUMMERFELT, HOCHHEIMER, 1997), ou seja, que a massa do gás, pouco solúvel, que se dissolve no líquido, a uma dada temperatura, é directamente proporcional à pressão parcial do gás.

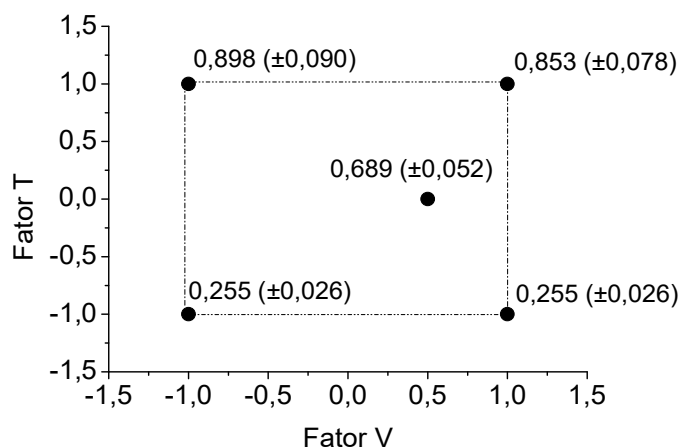


As concentrações de ozônio residual na água mineral são apresentadas na Tabela 3 e na Figura 2, respectivamente, e variaram de 0,255 ($\pm 0,026$) a 0,898 ($\pm 0,090$) mg.L^{-1} . De acordo com a literatura especializada para a desinfecção e controle de odor em águas envasadas são necessárias concentrações de ozônio residual entre 0,10 e 0,20 mg.L^{-1} , com tempo de detenção de 2 a 4 min, dependendo da presença de substâncias oxidantes como ferro, manganês, íons fulfeto, carbono orgânico total e microorganismos (OVERBECK, 2010).

Tabela 3 – Resultados do planejamento fatorial 2^2 com indicação do efeito da vazão do gás ozônio na fase líquida (V) e do teor do gás ozônio na fase gasosa (T) sobre a concentração de ozônio residual em água mineral.

Ensaio (triplicata)	Fatores		Concentração $\text{O}_{3(\text{aq})}$ (mg.L^{-1})
	V	T	
1	-1 (1,0 L.min^{-1})	-1 (20,0% vv)	0,255 ($\pm 0,026$)
2	+1 (5,0 L.min^{-1})	-1 (20,0% vv)	0,255 ($\pm 0,026$)
3	-1 (1,0 L.min^{-1})	+1 (80,0% vv)	0,898 ($\pm 0,090$)
4	+1 (5,0 L.min^{-1})	+1 (80,0 % vv)	0,853 ($\pm 0,078$)
5	+0,5 (3,0 L.min^{-1})	0,0 (60,0 % vv)	0,689 ($\pm 0,052$)

Figura 2 – Concentração de ozônio residual (mg/L) em função da vazão do ozônio na fase líquida (V) e do teor de ozônio na fase gasosa (T).

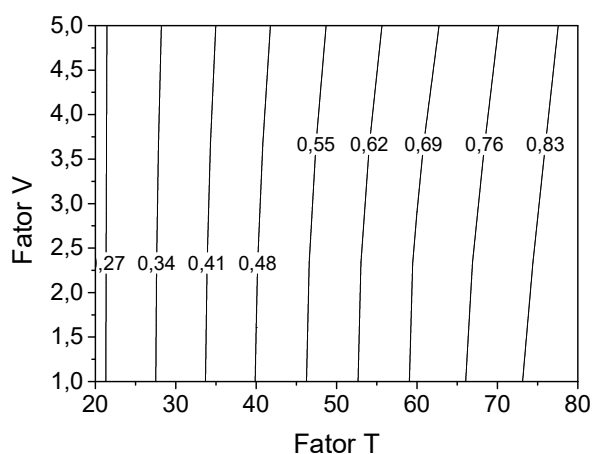


Os resultados demonstram, no sistema em estudo, que o aumento na vazão do ozônio gasoso na fase líquida, de 1,0 L/min para 5,0 L/min , não resulta em um incremento na concentração de ozônio residual na água mineral, bem evidenciado na Figura 3. Entretanto, a alteração no teor de ozônio na amostra gasosa, de 20,0% para 80,0% vv, provocou um acréscimo substancial na concentração do ozônio residual, de 0,255 ($\pm 0,026$) mg/L para 0,898 ($\pm 0,090$) mg/L , e indica que a dissolução do gás ozônio na fase aquosa obedece a Lei de Henry, ou seja, que a concentração do gás dissolvido na água mineral depende da pressão parcial do ozônio gasoso em equilíbrio, que é directamente relacionada com a fração molar do ozônio nesta fase, segundo a lei de Dalton para mistura de gases. Todavia, a solubilidade do ozônio é dependente do pH da solução, da temperatura, da reação de auto decomposição, do



equilíbrio com o $O_{2(g)}$ e das reações diretas, o que dificulta a previsão teórica do teor de ozônio dissolvido ($O_{3(aq)}$) (TOMINAGA, RETTICH, BATTINO, 1983). O ozônio decompõe-se na água, espontaneamente, por meio de mecanismos complexos: i) oxidação direta dos compostos pelo ozônio, em valores de pH neutros ou ácidos; ii) oxidação dos compostos pelos radicais livres hidroxilas produzidos durante a decomposição do ozônio, em valores de pH básicos (VIEIRA; SANCHES; SILVA, 2003). Neste contexto, cumpre destacar que há diferentes maneiras de se eliminar o ozônio dissolvido na fase aquosa: prolongando o tempo de contato em razão da autodecomposição; passando o fluxo aquoso através de um biofiltro ou camada de carvão ativado; empregando câmara ou coluna de aeração em que a pressão parcial do gás ozônio é reduzida ou decompondo o ozônio dissolvido com radiação ultravioleta (LANGLAIS; RECKHOW; BRINK, 1991).

Figura 3 –Curvas de nível da superfície de resposta da vazão do gás ozônio na fase líquida (V) e do teor do gás ozônio na fase gasosa (T) sobre a concentração de ozônio residual em água mineral.



Os efeitos principais e de interação da vazão do gás ozônio na fase líquida (V) e do teor do gás ozônio na fase gasosa (T) sobre a concentração do ozônio residual na água mineral são apresentados na Tabela 4. O aumento da vazão do gás ozônio na fase líquida mostrou-se estatisticamente insignificante, e similar conclusão ocorre quando se analisa o efeito da interação entre a vazão do gás ozônio na fase líquida e o teor do gás ozônio na fase gasosa. O aumento da vazão do gás ozônio na fase líquida não implica em um acréscimo na fração molar da substância na câmara de mistura em decorrência do descarte do excesso do gás para a atmosfera. Por outro lado, quando o teor do ozônio é aumentado na fase gasosa há um acréscimo na fração molar da substância na câmara de mistura, e da pressão parcial do gás ozônio, resultando no acréscimo de $+0,620 (\pm 0,062)$ $mg.L^{-1}$ na concentração do ozônio residual na água mineral.

Tabela 4 – Efeitos principais e de interação da vazão do gás ozônio na fase líquida (V) e do teor do gás ozônio na fase gasosa (T) sobre a concentração de ozônio residual na água mineral.

Efeitos	Principais (mg/L)		Interação (mg/L)
	V	T	VT
	-0,023 ($\pm 0,062$)	+0,620 ($\pm 0,062$)	0,023 ($\pm 0,124$)

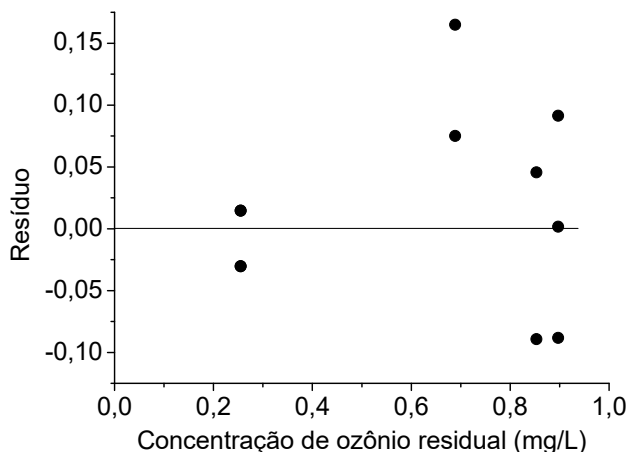
Para a proposição do modelo estatístico a partir dos resultados experimentais foram empregados os coeficientes de contraste na Tabela 3 (+1,-1), que indicam as interações entre as variáveis propostas, denominadas de T, V e TV, conforme parâmetros estimados. O



modelo estatístico de interação de segunda ordem demonstra a influência do teor do gás ozônio na fase gasosa sobre a concentração do ozônio residual na água mineral, conforme analisado no parágrafo anterior. Os resíduos do modelo estatístico encontram-se na Figura 4.

$$C = 0,565 (\pm 0,031) + 0,310 (\pm 0,087).T - 0,011 (\pm 0,044).V - 0,011 (\pm 0,128)TV \quad (2)$$

Figura 4 – Resíduos do modelo estatístico de interação de segunda ordem (2).



Estudos indicam que a desvantagem da utilização do gás ozônio deve-se a sua instabilidade e a imprevisibilidade das reações de decomposição, tornando imprecisa a generalização de que determinada concentração de ozônio residual seria efetiva para inibição de microrganismos (LANGLAIS; RECKHOW; BRINK, 1991). Também convém citar que embora a sanitização empregando ozônio não deixe resíduos em alimentos, devem ser aplicadas restrições à exposição humana ao ozônio (CABRAL et al, 2015), de modo que é imperativa uma normatização para o uso desta substância na indústria de água mineral, seja para o controle dos resíduos produzidos ou mesmo para a fiscalização do meio ambiente de trabalho (GEMIGNANI; GEMIGNANI, 2012).

4. Conclusão

A determinação da concentração do ozônio residual em uma água mineral, empregando uma câmara de mistura que assegure uma pressão parcial constante do gás ozônio, demonstrou que, no domínio experimental com teor de gás ozônio na fase gasosa de 20% vv a 80%vv e vazão do gás ozônio na fase aquosa (água mineral) de 1,0 L/min a 5 L/min, a concentração de ozônio residual encontra-se entre 0,255 ($\pm 0,026$) e 0,898 ($\pm 0,090$) mg.L⁻¹. O aumento da vazão do gás ozônio na fase líquida não teve influenciou na concentração de ozônio residual, e o efeito principal desta variável mostrou-se estatisticamente insignificante, enquanto que o acréscimo no teor de ozônio na fase gasosa resultou em um incremento na concentração do ozônio residual na água mineral de +0,620 ($\pm 0,062$) mg.L⁻¹.

5. Referências

AMARAL, L. A.; FIORINI, J. E.; NASCIMENTO, L. C.; VEIGA, S. M. O.; CARDOSO, C. C.: **Um processo de sanificação de galões de água com a utilização de ozônio**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, 23(1).jan.-abr. 2003. p. 59-61.



BERGMAN, R.; LUNDSTEDT, T.; SEIFERT, E.; ABRAMO, L.; THELIN, B.; NYSTRO, A.; PETTERSEN, J.: **Experimental design and optimization**. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems 42, 1998, p. 3–40.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral: **Sumário Mineral 2014**/ Coordenadores Thiers Muniz Lima, Carlos Augusto Ramos Neves Brasília: DNPM, 2014. p. 28-29. Disponível em <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2014>>. Acesso em 12 de agosto de 2015.

CABRAL, L. M. C.; COELHO, C. C. S.; SILVA, O. F.; CAMPOS, R. S; BEZERRA, V. S.: **Ozonização como tecnologia pós-colheita na conservação de frutas e hortaliças: Uma revisão**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.19, n.4, 2015, p.369–375.

COSTA, T. F.; FELLI, V. E. A.; BAPTISTA, P. C. P: **A percepção dos trabalhadores de enfermagem sobre o manejo dos resíduos químicos perigosos**. Revista da Escola de Enfermagem da USP. Vol. 46, nº. 6. São Paulo. Dec. 2012, p. 1453-1461.

FILHO, F. A. L.: **Effects of operational parameters and water quality variables on ozone residual profiles and decay rates**. Brazilian Journal of Chemical Engineering. Vol. 27, N 04, October - December, 2010, p. 545 – 554.

GEMIGNANI, T. A. A.; GEMIGNANI, D.: **Precaução e prevenção. Princípios norteadores de um novo padrão normativo**. Rev. TST, Brasília, vol. 78, no 1, jan/mar 2012. p. 258-280.

LANGLAIS, B; RECKHOW, D. A.; BRINK, D. R.: **Ozone in water treatment-application and engineering**. American Water Works Association Research. Denver, 1991.

LENNTech: **Ozone decomposition**. Disponível em: <<http://www.lenntech.com/library/ozone/decomposition/ozone-decomposition.htm>>. Acesso em 20 de outubro de 2015.

OVERBECK, P.: **Ozone Dose**. Water Quality Products. DECEMBER 2010. p. 28-29
REINOLD, M.R. **A estabilização microbiológica da água mineral**. Revista Engarrafador Moderno, São Paulo, nº 60 , out.1998, p.46-49.

SUMMERFELT, S. T.; HOCHHEIMMER, J. N.: **Review of ozone processes and applications as na oxidizing agente in aquaculture**. The progressive fish-culturist. v. 59, 1997, p. 94-105.

TOMINAGA, T.; BATTINO, R.; RETTICH, T. R.: **The solubility of oxygen and ozone in liquids**. Journal of Physical Chemistry. Vol. 12, Nº 2, 1983, p. 164-177.

VAISTMAN, D. S.; VAISTMAN, M. S.: **Água Mineral**. Rio de Janeiro: Interciência. 2005.
VIEIRA, E. M., SANCHES, S. M., SILVA, C. H. T.: **Agentes desinfetantes alternativos para o tratamento de água**. Química Nova na Escola, no 17, Mario de 2003. p. 8-12.

WARDANI, S.; TIAHJANTO, R. T.; SOMIYA, I.; ROBSON, M.; RICHARD, Y.; MATSUMOTO, N.; MASSCHELEIN, W.; LANGLAIS, B.; GORDON, G.; RAKNESS, K.: **Guideline for Measurement of Ozone Concentration in the Process Gas From an Ozone Generato**. Ozone Science & Engineering. V. 18. 1996, p. 209-229.